



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – Uniceub
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO

Henrique Gomes da Silva

SIREMAS

Sistema Residencial de Monitoramento Acústico Subaquático

Brasília, 2009

Henrique Gomes da Silva

SIREMAS

Sistema Residencial de Monitoramento Acústico Subaquático

Prof. Orientador: Carmo Gonçalves

Monografia apresentada à Banca
Examinadora da Faculdade de
Tecnologia e Ciências Sociais
Aplicadas do UniCEUB como um dos
pré-requisitos para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia da
Computação.

Brasília, 2009

Autoria: Henrique Gomes da Silva

Título: SIREMAS – Sistema Residencial de Monitoramento Acústico Subaquático

Monografia apresentada à Banca Examinadora da Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do UniCEUB como um dos pré-requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Brasília, 23 de Novembro de 2009

Banca Examinadora

Os componentes da banca de avaliação, abaixo listados, consideram este trabalho aprovado.				
	NOME	TITULAÇÃO	ASSINATURA	INSTITUIÇÃO
1				
2				
3				

Agradecimentos:

Ao onipresente.

À meus pais, por toda a estrutura oferecida, paciência e correto encaminhamento.

À meus irmãos, pelo companheirismo e apoio.

Aos amigos, sempre pacientes e constantes.

Ao Mestre Carmo Gonçalves, que sempre me apoiou e me orientou a seguir os caminhos certos.

Aos professores e profissionais do Uniceub que contribuíram para o processo de formação profissional e intelectual.

RESUMO

O estudo representado nesse trabalho denota as fundamentações teóricas de transmissão mecânica de sinais de áudio em um ambiente subaquático, sinais estes que ao serem filtrados e identificados por um circuito eletrônico, possibilitam o acionamento de dispositivos externos de monitoramento, mediante árvore de decisão previamente definida, com o intuito de reduzir o tempo de resposta no socorro às vítimas de afogamento, bem como prover o monitoramento remoto de um parque aquático, mantendo um baixo custo.

Este projeto contempla o desenvolvimento de um aquário que representou, em escala reduzida, uma piscina ou tanque, no qual foi realizada uma perturbação mecânica geradora de sinal de áudio, a ser captada por um par de hidrofones que, ao transmitir esse sinal ao microcontrolador, possibilitará a identificação do sinal, filtragem e posterior acionamento dos dispositivos, quando necessário. Para a demonstração, foi construído um aparato experimental que se valeu da escala reduzida para demonstrar o funcionamento do software de filtragem que regeu o funcionamento do microcontrolador, acionando ou não as saídas do sistema.

Palavras chaves: Sonar; Acústica; Monitoramento; Piscina; Tanque; Resgate; Alarme

ABSTRACT

The study presented in this work shows the theoretical foundations of mechanical audio signals transmission in an underwater environment, signals that when filtered and identified by an electronic circuit, allow the activation of external monitoring devices, based on a decision tree previously defined, with the intention of reducing the response time in helping drowning victims, as well to provide the remote monitoring of an water facility, keeping a low financial cost. This project contemplates the development of an aquarium that will represent an scaled swimming pool or tank, in which will be produced a mechanical perturbation that will generate an audio signal, to be captured by a couple of hydrophones, which, by sending this signals to the microcontroller, will allow to identify , filter and late activation of other devices, if necessary. For the demonstration, an experimental apparatus will be constructed that will be based on the reduced scale to demonstrate the functioning of the filtering software that will rule the functioning of the microcontroller, setting or not in motion the exits of the system.

Key words: Sonar; Acoustic; Monitoring; Swimming Pool; Tank; Rescue, Alarm.

Sumário

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	12
LISTA DE TABELAS	13
LISTA DE EQUAÇÕES.....	14
1. Introdução.....	15
1.1. Motivação.....	15
1.2. Objetivos	16
1.3. Métodos Utilizados.....	16
1.4. Metodologia da Pesquisa	17
1.5. Estrutura do Trabalho	17
2. Fundamentos de Acústica	18
2.1. Som	18
2.1.1. Frequência	19
2.1.2. Fase	20
2.1.3. Velocidade	20
2.1.4. Pressão	21
2.1.5. Intensidade.....	22
2.1.6. Altura.....	23
2.1.7. Timbre	24
2.2. Acústica	25
2.3. Representação das Grandezas Físicas.....	26
2.4. Unidades Nos Sistemas CGS e MKS – (SI).....	27
2.5. Medidas em Escalas Logarítmicas	30
2.5.1. Decibel.....	30
2.5.2. Variações do Decibel	31
2.6. Representação das Medidas Acústicas	32
2.7. Quantidades, Unidades e Símbolos das Grandezas Acústicas Fundamentais	33
2.8. Meios de Propagação.....	35
2.9. Fenômenos de Propagação	36
2.9.1. Reflexão.....	36
2.9.2. Refração.....	37
2.9.3. Difração.....	37
2.10. Efeito Doppler.....	38

2.13.	Ruídos.....	39
2.14.	Instrumentação.....	39
2.14.1.	Transdutores.....	40
2.14.1.1.	Hidrofones.....	42
2.14.1.2.	Sensores de Presença.....	42
2.14.1.2.1.	Infra Vermelho	43
2.14.1.2.2.	Laser	43
2.14.2.	Sensor Ultra Sônico de Distância	43
2.15.	Sensor de Pressão.....	44
2.16.	O Software OCTAVE	44
3.	Componentes Eletro Eletrônicos.....	44
3.1.	O Microcontrolador ATMEGA328P	45
3.2.	O conversor A/D.....	47
3.3.	Pré Amplificador Operacional	49
3.4.	Placa Laboratório Arduino Duemillanove	50
3.5.	Protoboard	52
3.6.	Componentes Eletrônicos	53
3.7.	Fontes de Alimentação	54
3.8.	Sirene	54
3.9.	Diodo (LED).....	55
3.10.	Transdutor – Hidrofone.....	56
3.11.	Computador Pessoal	57
3.12.	Programação e Simulação de Circuito	58
3.13.	Softwares de Programação	58
3.14.	O Software <i>Arduino Development Enviroment</i>	58
3.15.	Proteus 7	59
3.16.	Fluxograma – Árvore de Decisão	60
3.17.	Diagrama do Circuito Eletrônico	63
4.	Desenvolvimento Experimental do Protótipo.....	64
4.1.	Histórico do Desenvolvimento	64
4.2.	Interferências e Filtros	67
4.2.1.	Séries de Fourier	68
4.2.2.	Filtro Passa Baixa	69

4.2.3.	Filtro Passa Alta	70
4.2.4.	Filtro Passa Banda	71
4.2.5.	Ensaio, Análises de Frequências e Amplitudes	73
4.3.	Versão Final do Protótipo	76
4.3.1.	Configuração Final do Chassi de Montagem	76
4.3.2.	Configuração Final de Hidrofone	77
5.	Resultados Obtidos e Análises dos Resultados	79
5.1.	Alcance do Hidrofone de Eletreto	79
5.2.	Frequências de Onda das Análises	79
5.3.	Desenvolvimento da Programação em Linguagem C	80
5.4.	Limites de Tolerância	80
5.5.	Tratamento de Falhas	81
5.6.	Modelo de Demonstração à Banca	81
6.	Considerações Finais	82
6.1.	Conclusão	82
6.2.	Dificuldades Encontradas	83
6.3.	Sugestões para Projetos Futuros	84
7.	Referência Bibliográfica	85
8.	Apêndice A – Códigos de Programas Utilizados	87
9.	Apêndice B – Anexos	93

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Topologia Proposta.....	17
Figura 2 - Elementos de Onda	19
Figura 3 - Dois sinais iguais em fases diferentes.....	20
Figura 4 - Sinal de onda de um som Forte; alta amplitude	23
Figura 5 - Sinal de onda de um som Fraco; baixa amplitude.....	23
Figura 6 - Som agudo, alta frequência.	24
Figura 7 - Som grave, baixa frequência.	24
Figura 8 - Uma mesma nota em diferentes timbres.	25
Figura 9 - Representação de variáveis acústicas.	33
Figura 10 - Reflexão da Onda de Som.	37
Fonte: Figura 11 - Efeito Doppler	38
Figura 12 - Esforço em um material Piezelétrico.	40
Figura 13 - Deformação após tensão aplicada.	41
Figura 14 - Conversão de sinal mecânico para elétrico.....	41
Figura 15 - Impedância x Frequência de materiais piezelétricos.....	42
Figura 16 - ATMEGA328P.	45
Figura 17 - Pinagem do ATMEGA328P.	46
Figura 18 - Esquema básico de um Amplificador Operacional	49
Figura 19 - Diagrama do Circuito do Pré Amplificador Operacional	50
Figura 20 - Placa Arduino Duemillanove	51
Figura 21 - Protoboard Minipa de 830 furos.	52
Figura 22 - Fonte TMS de alimentação 12V.....	54
Figura 23 - Buzzer PCB Piezelétrica de 88 dB.	55
Figura 24 - LED de saída visual.....	56
Figura 25 - Microfones de eletreto.	56
Figura 26 – Microfones de eletreto em cápsula plástica.	57

Figura 27 - Ambiente de programação Arduino.	59
Figura 28 – Ambiente de simulação Proteus 7.	60
Figura 29 - Fluxograma de Funcionamento do SIREMAS.	62
Figura 30 - Diagrama Eletrônico do SIREMAS.	63
Figura 31 – Primeiro esboço de circuito elétrico.	64
Figura 32 – Microfone de eletreto protegido por silicone.	65
Figura 33 – Microfone de eletreto protegido por tubo de plástico.	65
Figura 34 - Chassi SIREMAS com a Placa MultiPic e MultiProg.	66
Figura 35 – Atenuação de Frequências Altas.	69
Figura 36 – Circuito do Filtro Passa Baixa.	70
Figura 37 - Atenuação de Frequências Baixas.	70
Figura 38 – Circuito do Filtro Passa Alta.	71
Figura 39 – Atenuação de Frequências Altas e Baixas.	72
Figura 40 – Circuito do Filtro de Passa Banda.	72
Figura 41 – Ruído Ambiente gerado: Amplitude (y) x Tempo(x).	74
Figura 42– Ruído Ambiente gerado: Quantidade de Ocorrências (y) x Frequência (x).	74
Figura 43 – Ruído Gerado Externamente: Amplitude (y) x Tempo(x)	74
Figura 44 – Ruído Gerado Externamente: Quantidade De Ocorrências (y) x Frequência (x).	74
Figura 45 – Queda de Objeto: Amplitude (y) x Tempo(x).	75
Figura 46 – Queda de Objeto: Quantidade De Ocorrências (y) x Tempo(x).	75
Figura 47 - Chassi final SIREMAS com Arduino Duemillanove.	76
Figura 48 – Chassi final SIREMAS com Arduino Duemillanove.	78
Figura 49 – Chassi final SIREMAS com Arduino Duemillanove.	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Analógico / Digital
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BIT	Binary Digit
BUZ	Buzzer
CCP	Diodo Emissor de Luz
CI	Circuito Integrado
dB	Decibéis
fs	Frequência do sinal
GB	Giga Byte
GHz	Giga Hertz
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
KHz	KiloHertz
MHz	Mega Hertz
MIC	Microfone
OPA	Amplificador Operacional
PC	Personal Computer Computador Pessoal

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Separação das ondas sonoras por faixas de frequências.....	26
Tabela 02 – Comparativo entre sistemas de medidas.....	29
Tabela 03 – Sons comuns e seus índices em dB.....	31
Tabela 04 – Escala Decibel para outros fins não acústicos.....	32
Tabela 05 – Escala de Conversão Analógico - Digital.....	48
Tabela 06 – Seqüência de Análise e Digitalização de Sinal.....	49
Tabela 07 – Características da placa Arduino Duemillanove.....	52
Tabela 08 – Componentes eletrônicos utilizados.....	54

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (2.1) Celeridade.....	19
Equação (2.2) Freqüência.....	20
Equação (2.3) Comprimento de Onda.....	20
Equação (2.4) Pressão Instantânea.....	21
Equação (2.5) Pressão Instantânea em Função da Força.....	21
Equação (2.6) Intensidade Sonora.....	22
Equação (2.7) Campo Magnético [sem unidades].....	26
Equação (2.8) Campo Magnético [com unidades].....	26
Equação (2.9) Índice em Bell.....	31
Equação (2.10) Pressão Sonora [dB].....	34
Equação (2.11) Audibilidade.....	37
Equação (2.12) Grau de Difração.....	39
Equação (2.13) Freqüência Doppler.....	35
Equação (2.14) Audibilidade.....	47
Equação (3.15) Ganho do Amplificador Operacional.....	49
Equação (4.16) Série de Fourier [Forma Complexa].....	68
Equação (4.17) Série de Fourier [Forma Complexa - Componente].....	68
Equação (4.18) Série de Fourier [Forma Trigonométrica].....	68
Equação (4.19) Série de Fourier [Forma Trigonométrica Detalhada].....	68

1. Introdução

1.1.Motivação

A sociedade atual provê - para alguns, confortáveis condições de lazer, que são amplamente utilizadas. Uma dessas variantes é a possibilidade do uso fruto de uma instalação aquática, como uma piscina. Não raro, pode-se encontrar em diversas residências individuais, clubes, condomínios ou parques aquáticos, várias formas e modelos de piscinas e tanques, com grandes recursos investidos nas mesmas.

Porém, há um fator negativo como subproduto dessas benesses, pois uma estrutura aquática no perímetro de uma residência ou em um condomínio ou clube, no qual há uma grande circulação de pessoas, existe a necessidade de se manter um controle, a fim de se evitar acidentes. Dentre os registros anuais de ocorrências de acidentes domésticos relativos às instalações aquáticas, é comum relatos de quedas nas proximidades da piscina, choques elétricos na rede de iluminação, pequenos cortes, entre outros. Contudo, uma das maiores ocorrências, e de fato a mais trágica, é o afogamento.

Diversas instalações de uso público contam com o apoio de profissionais treinados para resgate em curtíssimo espaço de tempo, profissionais estes que por diversas vezes foram capazes de evitar tragédias. Mas essa presença não é constante, e em muitos casos, é inexistente, como em piscinas residenciais ou em alguns condomínios, e o que é mais grave, há momentos nos quais não há qualquer tipo de monitoramento ou vigilância.

Pensando nesse tipo de situação, na qual não há apoio ao usuário da instalação aquática, foi pensada a solução de monitoramento com o uso de fundamentos acústicos, para propiciar uma maior segurança às residências ou condomínios. A lacuna que existe no período noturno, por exemplo, em uma residência que possui crianças ou pequenos animais, ou até mesmo adultos, e não há uma forma de se controlar o acesso. Com o uso do SIREMAS, torna-se possível ao morador ou administrador de um condomínio, um monitoramento constante, inclusive nos horários de distração da família, de grande ocupação dos responsáveis pela monitoração ou pela simples ausência do mesmo.

Como exemplo trágico, é possível citar a morte por afogamento de um atleta em Brasília, no qual a piscina se encontra no terraço do prédio. Ao fazer um treinamento noturno, o atleta acabou por falecer, tendo sido encontrado já sem vida na manhã do dia seguinte, conforme reportagem do site G1.com, no dia 22/02/2009. A proposta desse projeto é evitar não somente esse tipo de acidente, mas também afogamentos vinculados ao usuário comum, não praticamente de esportes.

1.2.Objetivos

O principal objetivo desse trabalho foi o desenvolvimento de um sistema experimental que simula, em escala reduzida, um dispositivo de alarme para piscinas, que utiliza da captação da perturbação acústica causada pela movimentação de indivíduos no interior da piscina, dispara uma saída visual e em áudio, na forma de sinais luminosos intermitentes e ruídos de aviso, como um alarme residencial. Ambas as saídas tem por objetivo chamar a atenção do responsável pela segurança.

Para que o objetivo principal seja atingido, é necessário observar os seguintes objetivos específicos:

- Determinação do alcance dos dispositivos de captação de áudio (hidrofones), e, por conseguinte, a quantidade necessária dos mesmos, o que irá variar de acordo com o tamanho da piscina ou tanque que se deseja monitorar.
- Determinação da frequência e a amplitude média da onda acústica de repouso do ambiente a ser monitorado;
- Desenvolvimento utilizando linguagem C *Wiring*, o protocolo de funcionamento da placa *Arduino Duemillanove* com ATmega328P;
- Estabelecimento do limite de tolerância para determinar o momento de acionamento dos alarmes;
- Estabelecimento dos critérios de assertividade e tolerância a falhas;
- Determinação do modelo de demonstração à banca avaliadora.

1.3.Métodos Utilizados

Para o estudo, desenvolvimento e construção do sistema, foram utilizados dois hidrofones de eletreto, confeccionados especialmente para este trabalho para captação dos sinais acústicos subaquáticos, um micro controlador ATMEGA328P, que foi programado utilizando-se a linguagem C (*Wiring*) para a geração do código binário, uma placa de circuito impresso *Arduino Duemillanove*, uma sirene (*buzzer*) de 5V e um Diodo de 5V, que foram utilizadas como saídas do sistema.

Para testes e demonstração, foi utilizado um aquário de vidro com dimensões 50 x 25 x 10 cm, que representa em escala uma piscina retangular, preenchido com água doce com produtos comuns de higienização para

piscinas e uma fonte de geração de ruído, que envia sinais ao microcontrolador e que, através de um protocolo escrito em linguagem C (*Wiring*), permitirá o acionamento ou não das saídas do sistema. O funcionamento em detalhes é descrito no Capítulo 4 deste documento, e a Figura 1 denota a topologia da estrutura do protótipo montado para o projeto.

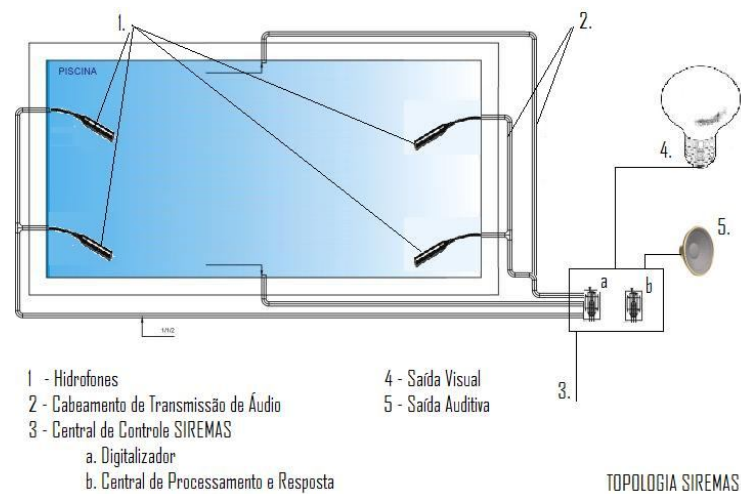


Figura 1 - Topologia Proposta

Fonte: O Autor

1.4. Metodologia da Pesquisa

Para o desenvolvimento deste projeto, foram realizadas pesquisas bibliográficas em livros e em artigos técnicos, além de diversos sites na internet. Adicionalmente às pesquisas, foram realizados diversos testes de funcionamento prático, inclusive em escala real, com o intuito de validar o protocolo programado no microcontrolador e o funcionamento dos componentes do sistema. Maiores detalhes sobre os testes e resultados obtidos estão disponíveis no Capítulo 5 deste documento.

1.5. Estrutura do Trabalho

Este trabalho seguiu as normas técnicas brasileiras (ABNT) e o regulamento para elaboração de projeto final do UNICEUB, e é composto por 7 capítulos e 2 apêndices, conforme descrito a seguir.

O Capítulo 01 apresenta a introdução sobre o tema, com esta parte do texto inclusa.

O Capítulo 02 trata da fundamentação teórica e matemática e dos conceitos e regras de acústica, foco principal de estudo desse projeto.

O Capítulo 03 contém as referências eletrônicas do projeto. São os equipamentos utilizados apenas na captura e automação do processo.

No capítulo 04 é descrito o processo experimental de construção do sistema, desde os equipamentos mecânicos aos eletrônicos, além do software desenvolvido.

O Capítulo 05 apresenta os resultados dos testes e as análises técnicas sobre os dados coletados.

O Capítulo 06 exhibe as conclusões e considerações além de sugestões para projetos futuros.

O Capítulo 07 cita as referências bibliográficas.

2. Fundamentos de Acústica

“A Acústica, como parte da Física, pode ser definida como o estudo das vibrações e ondas mecânicas nos meios materiais” (NEPOMUCENO, 1968, p. 01). Neste capítulo são apresentados os principais fenômenos físicos inerentes à captura de vibrações em diferentes meios, especificamente tendo a água como meio de propagação de ondas. Também são explicitados termos técnicos para o estudo, grandezas físicas, unidades de medida, equações de onda, equipamentos de captura, efeito Doppler e outros termos, todos com relevância ao projeto aqui desenvolvido.

2.1. Som

Entende-se por som ondas vibrações de três dimensões na faixa de frequência audível ao ouvido humano e se propagam em um determinado meio, seja ele gasoso ou líquido ou sólido (NEPOMUCENO, 1968). Por se tratar de ondas em movimento, o som é uma grandeza que possui comprimento de onda, frequência e velocidade de propagação, que podem variar de acordo com o meio de propagação, independente da fonte de emissão das vibrações sonoras.

Há 3 parâmetros básicos para definição do som:

- Freqüência: graves ou agudos.
- Amplitude: fortes ou suaves
- Tempo: curto ou longo

Sua velocidade de propagação no meio, também conhecida como *celeridade*, é dada pelo produto da freqüência pelo comprimento de onda (NEPOMUCENO, 1968), conforme descrito na equação 2.1 abaixo:

$$Cs = F \times \lambda \quad (2.1)$$

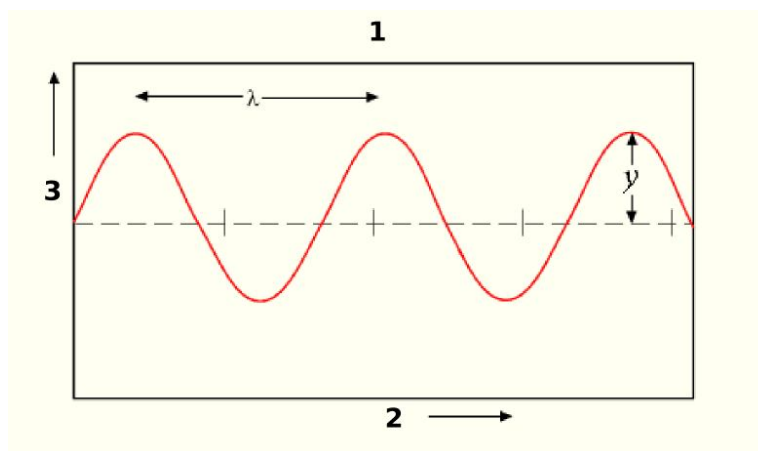
Onde:

F : Freqüência do Som (Hz).

λ : Comprimento de onda.

Cs: Velocidade do Som (m/s).

A Figura 02 denota os elementos de uma onda sonora.



Onde:

1 = Elementos de uma onda

2 = Distância

3 = Deslocamento

λ = Comprimento de onda

y = Amplitude

Figura 2 - Elementos de Onda

Fonte: <http://brodtec.com/files/images/onda.png>

Nos itens seguintes serão descritas características relativas às ondas sonoras.

2.1.1. Freqüência

Trata-se da quantidade de iterações de um sinal por unidade de tempo (NEPOMUCENO, 1968). Para esse trabalho foi utilizado o sistema MKS, dessa forma a freqüência é medida em *Hertz* (repetições em um intervalo de 1 segundo). A equação 2.2 abaixo expressa a freqüência.

$$F = n/T \quad (2.2)$$

Onde:

F= frequência

n = quantidade de repetições

T = tempo (1 segundo)

2.1.2. Fase

Uma das componentes mais importantes do som é a fase, que embora não possua uma influência muito grande sobre como o som é ouvido, é importantíssima para mostrar o quão complexo pode ser um sinal senoidal de som. Abaixo, observa-se um modelo com dois sinais de som, de mesma amplitude e frequência, porém seus alinhamentos com o tempo estão deslocados um do outro. Analisando a amplitude, o comprimento de onda e a sua fase, pode-se explicar de forma direta qualquer sinal senoidal de áudio (NEPOMUCENO, 1968), conforme visto na Figura 03.

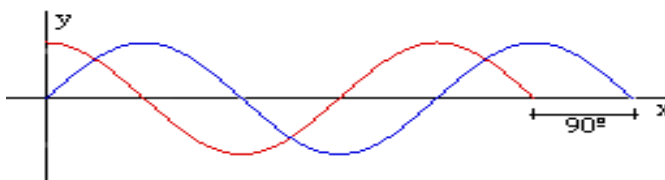


Figura 3 - Dois sinais iguais em fases diferentes

Fonte: <http://www.eca.usp.br/prof/iazzetta/tutor/acustica/fase/fase90.gif>

2.1.3. Velocidade

Entende-se por velocidade do som a razão com a qual uma onda sonora percorre uma determinada distância no meio em um intervalo de tempo (NEPOMUCENO, 1968), e pode ser medida através da equação 2.3:

Relação entre comprimento de onda, velocidade e frequência

$$\lambda = c/f \quad (2.3)$$

Onde: λ =comprimento de onda, c = velocidade do som e f = frequência

No ar, a velocidade do som é de aproximadamente 340m/s, a uma temperatura de aproximadamente 25°C. Como o som é uma onda mecânica, cuja propagação se deve ao choque entre as partículas do meio, a temperatura tem relação direta com a velocidade, pois quanto maior a temperatura, maior a agitação entre as partículas, e o meio se torna menos denso. Como consequência disso, pode-se observar que a velocidade do som no ar, a uma temperatura de 0°C cai para 330m/s, aproximadamente. O som pode se propagar em qualquer meio elástico, mesmo que a elasticidade seja baixa, pois o efeito esperado para que haja propagação de som é uma agitação entre as moléculas, o que é possível inclusive em sólidos.

Outro meio aonde ocorre a propagação do som é na água, que permite uma velocidade até quatro vezes superior à velocidade do som no ar, chegando à 1500m/s. Dessa forma, um som de 20Hz gerado na água é tem comprimento de onda igual à 75 metros, enquanto o mesmo som, gerado no ar, possui comprimento de onda igual à 17 metros.

2.1.4. Pressão

A pressão de vibrações é medida pela razão força por unidade de área, e é comumente medida em micro Pascal (μPa), onde 1Pa é a pressão resultante de uma força de 1 Newton exercida sobre uma superfície de 1m^2 (NEPOMUCENO,1968).

A pressão instantânea $p(t)$ exercida por um objeto vibrante (meio vibrante) em uma área é diretamente proporcional à velocidade com a qual esse objeto vibra e a impedância acústica (rc), conforme equação 2.4:

$$p(t) = rcv \quad (2.4)$$

Onde: r = densidade; c = velocidade do som no meio; u = velocidade da partícula

Essa pressão também pode ser definida em função da força, conforme equação 2.5:

$$P = F/A \quad (2.5)$$

Onde P = pressão; F = força; A = área

2.1.5. Intensidade

A intensidade do som é definida como a potência acústica por unidade de área na direção da propagação das ondas, e relaciona-se com os coeficientes de Fourier da decomposição. A faixa de frequências entre dois tons é referida como intervalo.

- 1/1 uníssona
- 3/2 quinta
- 4/3 quarta
- 2/1 oitava.

Por exemplo, um dó com fundamental 500 Hz está uma quinta acima de uma nota sol em 375 Hz. Um tom em 1 kHz corresponde a um dó uma oitava acima do dó em 500 Hz. A escala musical é sempre em escala logarítmica, sendo adotada a base 2 (oitavas) (NEPOMUCENO,1968). As notas são caracterizadas pela fundamental.

Abaixo, a equação da intensidade sonora.

$$I = \frac{p_e^2}{\rho c} = \rho c v^2 \quad (2.6)$$

Onde: p_e (ou pressão efetiva) = $p/\sqrt{2}$; ρ = densidade do meio; c = velocidade do som no meio

[Nota: ρc é a impedância acústica, e equivale a 1.5×10^5 (Pa · s)/m na água e a 415 (Pa · s)/m no ar seco a 20°C]

É muito comum a confusão entre os termos *altura do som* e *intensidade do som*, pois o senso comum nos diz que quando um som sai da casa do vizinho, por exemplo, e invade nosso domicílio, tende-se a solicitar que se abaixe o som, o quê está errado. O que é desejado na verdade é que se diminua a intensidade do som, pois a dimensão que gera incômodo é a potência do som, não sua frequência. As Figuras 04 e 05 representam essas variações de propriedade de um sinal de áudio, com duas visões de um mesmo sinal à uma mesma frequência, variando apenas a amplitude.

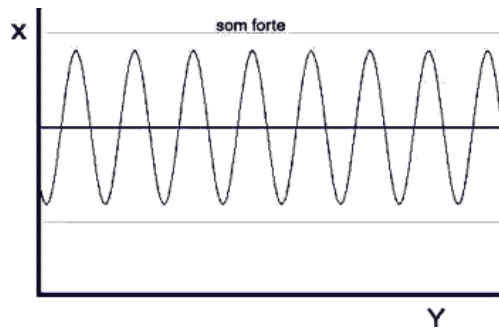


Figura 4 - Sinal de onda de um som Forte; alta amplitude

Fonte: http://www.sescsp.org.br/sesc/hotsites/musicaeletronica/zooteck/images/graf03_forte.gif

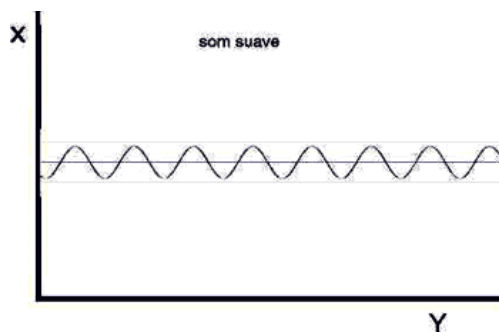


Figura 5 - Sinal de onda de um som Fraco; baixa amplitude.

Fonte: http://www.sescsp.org.br/sesc/hotsites/musicaeletronica/zooteck/images/graf04_suave.gif

2.1.6. Altura

A altura é a propriedade do som em ser mais grave ou mais agudo, ou seja, possuir uma frequência mais baixa (sons graves, ou baixos) ou uma frequência mais alta (sons agudos, ou altos). De uma forma geral, quanto maior for a frequência da onda deste som, maior será a altura dele, independentemente de sua amplitude (NEPOMUCENO,1968). Diferentemente do item 2.1.5, as Figuras 06 e 07 descrevem um sinal de áudio de mesma amplitude (intensidade) e diferentes frequências.

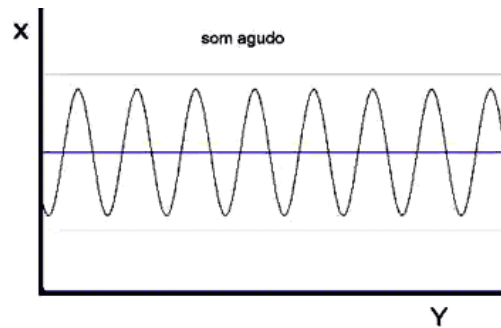


Figura 6 - Som agudo, alta frequência.

Fonte: http://www.sescsp.org.br/sesc/hotsites/musicaeletronica/zooteck/images/graf01_agudo.gif

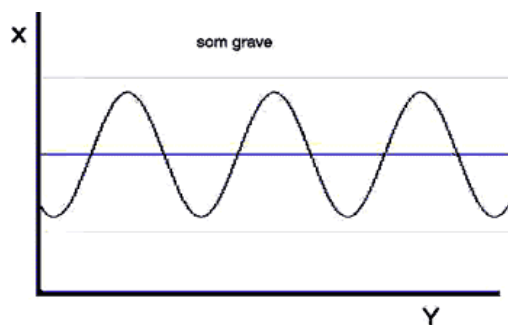


Figura 7 - Som grave, baixa frequência.

Fonte: http://www.sescsp.org.br/sesc/hotsites/musicaeletronica/zooteck/images/graf02_grave.gif

Um exemplo prático do uso da variação de frequência pode ser encontrado em sirenes de ambulâncias. Estas sirenes consistem de um disco contendo várias perfurações e um jato de ar comprimido incidindo nestes furos. Ao girar, é gerado um tipo de um silvo devido ao atrito do ar com os furos. À medida que a velocidade angular do disco aumenta, aumenta proporcionalmente a frequência do silvo, acontecendo o contrário para a redução de sua velocidade angular. E é esta variação que é característica das sirenes.

2.1.7. Timbre

Essa dimensão de análise do som especifica a combinação harmônica gerada, é definida pela composição de frequência e amplitude. Todas as fontes geradoras de som constituem uma nota fundamental e um determinado número de harmônicos que as caracterizam. Os primeiros harmônicos determinam o timbre do som e os de ordem mais elevada tem importância no "brilho". Um violino, uma flauta e um piano produzindo uma mesma nota dó (mesma

freqüência), fornecem sons ligeiramente diferentes, pois embora produzam a fundamental (dó), o conteúdo harmônico produzido por cada instrumento é diferente. Pela mesma razão, em uma conversa entre duas pessoas, são produzidos timbres diferentes para cada uma delas, o que permite distinguir cada um dos interlocutores. A flauta doce, por exemplo, é um dos instrumentos musicais de som mais puro, i.e., de menor conteúdo harmônico.

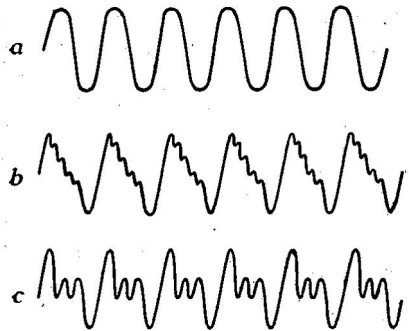


Figura 8 - Uma mesma nota em diferentes timbres.

Fonte: <http://www2.ee.ufpe.br/codec/sons-timbr.pdf>

- a) Forma de onda de uma nota dó pura em 512Hz
- b) Mesma nota emitida por um piano
- c) Mesma nota emitida por um órgão.

2.2.Acústica

Pode-se fazer referência à parte da física responsável pelos estudos das vibrações e ondas mecânicas nos meios materiais como acústica, e dentre as definições de vibrações, as suas freqüências determinam suas categorias e aplicações (NEPOMUCENO, 1968). Por exemplo, são conhecidas como tremores as vibrações cujas freqüências se limitam à 20Hz, som a faixa de vibração que reside entre 20 e 20kHz, e ultra som as freqüências superiores à 20kHz. Observa-se que as faixas de freqüência acima foram determinadas com base em estudos fisiológicos que definem de forma determinada a faixa de áudio freqüência, audível ao ouvido humano dito padrão, comumente conhecido como “ouvido médio”. É importante ressaltar que essa faixa refere-se ao homem, visto que cães, gatos e cavalos ouvem até cerca de 45kHz, e morcegos e algumas espécies de ratos ouvem até cerca de 70kHz.

Tabela 01 – Separação das ondas sonoras por faixas de frequências.

Segmentação	Limite Inferior	Limite Superior
Infra – Som	0	< 20Hz
Som	20Hz	< 20kHz
Ultra - Som	20kHz	-

Fonte: O Autor

Dentro de um estudo comum, entende-se como Som as vibrações dentro da faixa de frequência audível ao ser humano (20 a 20kHz), pode-se hoje em dia avaliar também vibrações fora dessas faixas, como os infra-sons, ultras sons e hiper-sons, conforme descritos na Tabela01.

2.3.Representação das Grandezas Físicas

Em se tratando de equações da física, observa-se um conjunto de símbolos que indicam uma conexão entre as grandezas que intervêm na relação. Cada símbolo pode significar:

- Um número
- Uma unidade
- Uma grandeza

Assim sendo, é possível escrever um equação física de três maneiras distintas e cada uma delas tem seu campo de aplicação limitado, conforme a seguir:

- Uma equação numérica representa as quantidades pelos números respectivos e a mesma é válida somente para um sistema de unidades coerentes, conforme o exemplo:

$$F = 3,5 \times 10^3 B l i \quad (2.7)$$

Onde, mesmo sabendo-se que B é dado em volts x segundo/metro², l em metros e i em ampéres, não se sabe a unidade da força F. As equações numéricas, embora muito práticas, têm a desvantagem de não dar esclarecimento sobre em que unidade é dado o resultado final.

- Uma equação de unidades seria, por exemplo:

$$\frac{F}{N} = k \times \frac{B}{\text{gauss}} \times \frac{h}{\text{cm}} \times \frac{t}{A} \quad (2.8)$$

- Nas equações de grandezas, cada símbolo ou número significa uma “grandeza”. Como uma grandeza é, forçosamente, o produto de um número por uma unidade, devemos escrever, para sermos rigorosos, a unidade entre colchetes e a grandeza entre parênteses, como mostrado no exemplo:

Grandeza $F = 50 \text{Kg.m/s}^2$
 Número de N $[F] = 50$
 Unidade de F (F) = $\text{Kg.m/s}^2 = \text{N}$

ONDE:

F = Força Resultante.
 Kg = Quilograma, unidade de massa
 m = Metro
 s² = segundo ao quadrado

2.4.Unidades Nos Sistemas CGS e MKS – (SI)

Para simplificar cálculos e promover a comunicação, cientistas adotaram o sistema métrico de medidas. No entanto, duas orientações sobre quais medidas métricas seriam as padronizadas pela comunidade científica, pois para alguns cientistas, cujo trabalho se dava em laboratório, utilizando-se de pequenas quantidades e distâncias, naturalmente passaram a utilizar centímetros e gramas. Porém outros estudos, como os de engenharia, que se valem de grandezas maiores, naturalmente passaram a utilizar escalas maiores, como metros e quilogramas. Ambas as linhas de pensamento sempre foram a favor da utilização das medidas básicas para força, pressão, trabalho, potência, mas quais medidas básicas usar?

Como resultados, foram elaborados dois blocos de unidades métricas para ciência e engenharia. Um bloco, baseado no centímetro, grama e segundo é chamado de Sistema CGS, e o outro bloco, que tem como base as escalas de metros, quilogramas e segundos, denomina-se Sistema MKS.

Quando é dito, por exemplo, que dina é unidade de força no Sistema CGS, sua definição é automaticamente determinada: é a força que acelera uma massa de 1grama à razão de 1 centímetro por segundo ao quadrado. Já no

Sistema MKS, a unidade de força Newton, indica a aceleração de uma massa de 1Kg à razão de 1 metro por segundo ao quadrado. A proporção entre os sistemas CGS e MKS é em geral uma potência de 10, onde pode-se definir que uma unidade Newton acelera uma massa 1000 vezes maior que uma unidade dina, e o faz 1000 vezes mais rápido, de forma que há 10⁵ dinas em um Newton.

O Sistema CGS foi formalmente introduzido pela Associação Britânica de Avanços à Ciência em 1874. Foi amplamente adotado por cientistas à época, e tornou-se o sistema mais comumente utilizado no meio científico durante anos. Enquanto isso, os avanços no padrão do sistema métrico foram finalmente distribuídos em 1889 pelo *Bureau of Weights and Measures* (BIPM), e durante o século 20, o sistema MKS passou a ser largamente utilizado em transações comerciais, engenharia e outras áreas fim. Por volta de 1950, houve certo desconforto entre usuários do sistema métrico, pois havia a necessidade de tradução entre as unidades do Sistema CGS e o Sistema MKS, e a necessidade desse protocolo de tradução ia totalmente contra o princípio de universalização do sistema métrico de medidas, o que forçava uma escolha a ser feita.

Em 1954, a décima Conferência Geral de Pesos e Medidas (*General Conference on Weights and Measures*), adotou o metro, o quilograma, o segundo, o ampère, o grau Kelvin e a candela como as unidades básicas para medidas internacionais, e em 1960, na décima primeira edição da mesma conferência, foi adotado o nome Sistema Internacional de Unidades (SI) para essa coleção de unidades, sendo que o “*grau Kelvin*” passou a chamar-se apenas de “*kelvin*” em 1967. De uma forma geral, pode-se dizer que houve uma preferência sobre o Sistema MKS, embora algumas medidas CGS ainda estejam em uso, e gradualmente sendo incorporadas ao SI.

A Tabela 02 lista as unidades do CGS e sua equivalente no SI, e é importante notar que para alguns casos, há mais de um nome de unidade para a mesma unidade. As unidades eletromagnéticas e eletrostáticas do CGS não estão incluídas na Tabela 02, à exceção daquelas unidades que possuam nomes especiais.

Tabela 02 – Comparativo entre sistemas de medidas

Unidade CGS	Medição	Equivalente SI
barye (Barye)	pressão	0,1 pascal (Pa)
biot (Bi)	Corrente Elétrica	10 ampères (A)
calorie (cal)	Energia Térmica	4,1868 joule (J)
darcy	Permeabilidade	$0,98692 \times 10^{-12}$ metros quadrados (m^2)
debye (D)	Momento do Dipolo Elétrico	$3,33564 \times 10^{-30}$ metros coulomb ($C \cdot m$)
dyne (dyn)	Força	10^{-5} newtons (N)
emu	Momento do Dipolo Magnético	Ampères 0,001 metros quadrados ($m \cdot A$)
erg	Trabalho, Energia	joule 10^{-7} joule (J)
Franklin (Fr)	Carga Elétrica	coulomb $3,3356 \times 10^{-10}$ coulomb (C)
Galileu (Gal)	Aceleração	0,01 metros por segundo quadrado ($m \cdot s^{-2}$)
Gauss (G)	Densidade do Fluxo Magnético	tesla 10^{-4} tesla (T)
Gilbert (Gi)	Força Magnetomotriz	ampere-turns 0,795 775 ampères-espiras (A)
kayser (K)	Número de Onda	100 por metro (m^{-1})
Lambert (Lb)	Luminescência	candelas 3183.099 candelas por metro quadrado ($cd \cdot m^{-2}$)
Langley	Transmissão de Calor	Kj 41,84 por metro quadrado ($kJ \cdot m^{-2}$)
Line (li)	Fluxo Magnético	weber 10^{-8} Weber (Wb)
Maxwell (Mx)	Fluxo Magnético	weber 10^{-8} Weber (Wb)
Oersted (Oe)	Intensidade do Campo Magnético	ampere-turns 79,577 472 amperes-espira por metro ($m \cdot A^{-1}$)
pH (phot)	Iluminação	lux 10^{-4} lux (lx)
Poise (P)	Viscosidade Dinâmica	pascal 0,1 pascal segundo ($Pa \cdot s$)
Stilb (SB)	Luminescência	candelas 10^{-4} candelas por metro quadrado ($cd \cdot m^{-2}$)
Stokes (St)	Viscosidade Cinemática	10^{-4} metros quadrados por segundo ($m^2 \cdot s^{-1}$)
Pólo de Unidade	Fluxo Magnético	weber $1,256 637 \times 10^{-7}$ weber (Wb)

Fonte: <http://www.unc.edu/~rowlett/units/cgsmks.html>

2.5. Medidas em Escalas Logarítmicas

Há diversas formas de se denominar as relações entre grandezas. Relações que representem grandezas lineares são chamadas de fatores, como por exemplo, fator de reflexão, fator de sintonização. As relações entre grandezas quadráticas são denominadas graus: grau de diretividade, grau de eficiência e etc. Já as relações logarítmicas são denominadas índices, tais como índice de redução acústica, índice de conversão eletro – acústica, entre outros.

Os índices são usados com bastante frequência quando os limites de variação são muito amplos como, por exemplo, o amortecimento de uma linha de transmissão, o comportamento do ouvido em função da frequência ou da intensidade.

Analisando-se, por exemplo, uma escala linear aritmética (1, 2, 3, 4,..., n) nota-se a diferença no padrão de variação quando se comparando a uma escala de série geométrica (1, 10, 100,..., 10^n). No primeiro exemplo, existe uma variação única entre um elemento e o próximo, ao passo na escala geométrica, essa escala não é uniforme, havendo apenas uma diferença devida a um fator constante.

2.5.1. Decibel

Para se medir a intensidade de um som, utiliza-se a escala logarítmica de decibel (dB), na qual se define como 0dB o silêncio absoluto. Um som 10 vezes mais forte tem 10 dB, um som 100 vezes mais forte do que o próximo ao silêncio total tem 20 dB e conseqüentemente, um som mil vezes mais forte do que o próximo ao silêncio total tem 30 dB (NEPOMUCENO, 1968). A Tabela 03 relaciona alguns sons comuns e seus índices em decibéis:

Tabela 03 – Sons comuns e seus índices em dB

Silêncio Absoluto	0 dB
Um Sussuro	15 dB
Conversa Normal	60 dB
Máquina de Cortar Grama	90 dB
Buzina de Automóvel	110 dB
Show de Rock ou Motor a Jato	120 dB
Tiro ou Rojão	140 dB

Fonte: http://www.solerpalau.pt/images/formacion/FHfitxa14_ilus_5.gif

Por não se tratar de uma ordem de grandeza, naturalmente não se pode materializar o decibel, da mesma forma como fazemos com 1Kg, ou 1Metro. A escala produz um índice que relaciona quanto à saída “S” de um sistema é maior ou menor que a entrada “E” do mesmo sistema. Devido ao fato de que a maioria das análises possui diferenças muito grandes e significativas entre as saídas e as entradas, o gradiente entre elas resultaria em valores extremamente pequenos ou extremamente grandes, dificultando a atribuição de valores práticos à análise. Essa questão foi facilmente resolvida com a utilização do logaritmo na base 10, que funciona pura e simplesmente como um mecanismo de amplificação (do ganho ou da atenuação). Dessa forma, tem-se a equação geral:

$$\text{Índice em } Db = \log \left(\frac{S}{E} \right) \quad (2.9)$$

Um último detalhe: na prática bastará ir até a primeira casa decimal dessa ordem de grandeza e para procurar evitar o uso da vírgula é conveniente usar no lugar do $\log (S / E)$ (que alguns chamam de bell ou bel, em honra a Alexandre G. Bell) o $10 \log (S / E)$ (o deci-bell), resultando em:

$$\text{Amplificação (dB)} = 10 \log \left(\frac{S}{E} \right) \quad (2.10)$$

2.5.2. Variações do Decibel

Em muitas áreas tecnológicas é preferível particularizar a comparação genérica acima para o caso de um sinal padrão (referencial) com o sinal

efetivamente medido. Isso, entre outras vantagens, permite a construção de instrumentos e de painéis registradores de medidas. A desvantagem é que cada escolha de sinal padrão leva a um tipo de decibel. A Tabela 04 mostra alguns exemplos usados na área da Eletrônica:

Tabela 04 – Escala Decibel para outros fins não acústicos

símbolo	sinal padrão	Fórmula
dBm	sinal de potência = 1 miliwatt	$10 \log [(\text{saída em mw}) / (1 \text{ mw})]$
dBu	tensão elétrica de 0.775 volts	$20 \log [(\text{tensão em volts}) / (0.775 \text{ volts})]$
dBVU	campo magnético de 250 nano webers/m	$10 \log [(\text{campo em nw/m}) / (250 \text{ nw/m})]$

Fonte: <http://www.sengpielaudio.com/calculator-db-volt.htm>

2.6.Representação das Medidas Acústicas

Como é possível verificar no item anterior, as variáveis acústicas são representadas normalmente em escalas logarítmicas, sendo que comumente as variáveis intensidade e frequência intervêm nessa relação. Não se costuma representar essa relação por fórmulas ou expressões algébricas, pelo simples fato de que tais representações não indicam o comportamento total do sistema em uma simples inspeção. Adicionalmente a esse fato, observa-se também um interesse maior aos pontos de grande variação de uma grandeza, tais como a frequência de ressonância, frequência crítica, vibração mecânica em uma máquina. A Figura 09 exibe uma forma de representação de grandeza acústica, ao representar um sinal em duas frequências.

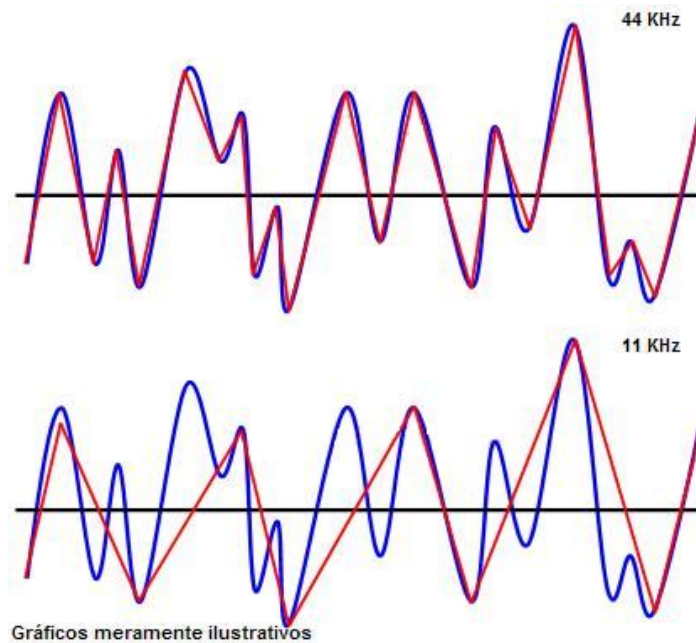


Figura 9 - Representação de variáveis acústicas.

Fonte: http://www.infowester.com/img_art/graf_som2.jpg

2.7.Quantidades, Unidades e Símbolos das Grandezas Acústicas Fundamentais

Altura – É o atributo da percepção auditiva, segundo o qual os tons podem ser classificados numa escala que se estende dos mais graves aos mais agudos ou a localização de um tom em uma escala de frequências.

Amplitude – valor máximo de uma grandeza variável periodicamente, em relação à posição de equilíbrio, devido à perturbação sonora.

Audibilidade – A impressão auditiva que um observador tem da intensidade de uma fonte sonora.

Barulho – Tom, som ou ruído indesejável.

Batimento – Variações periódicas resultantes da superposição de duas oscilações simples e de frequências diferentes.

Câmara Anecóica – Espaço limitado, no qual as condições de um espaço livre de barreiras são imitadas.

Coefficiente de Dissipação – Relação entre o fluxo de energia acústica dissipada e o fluxo de energia acústica incidente.

Comprimento de Onda – num meio isotrópico, o comprimento de onda é a menor distância entre dois pontos de mesma fase, ao longo da linha de propagação.

Consonância – Combinação de tons que produz sensação auditiva agradável.

Deformação – Relação entre a alteração na dimensão de um corpo e a dimensão total do mesmo.

Densidade – Massa por unidade de volume.

Distorção – Modificação da forma de onda devida a não linearidade do sistema.

Dissonância – Combinação de tons que produza sensação auditiva desagradável.

Espaço Livre – Um espaço livre é um meio homogêneo, isotrópico e que não contém barreiras.

Faixa de Áudio – Compreende todas as vibrações ou ondas mecânicas num meio elástico, cujas frequências se situem entre 20 e 20kHz.

Fator de Perdas – Tangente do ângulo de fase entre a tensão aplicada e a deformação.

Fator de Transdução Eletro – Mecânica – Relação complexa entre as grandezas lineares elétricas e mecânicas através das quais a conversão de energia é feita.

Frequência – O inverso do período.

Hertz – Frequência de um fenômeno periódico, cuja frequência é de 1 segundo.

Hiper – Som – Vibração ou onda mecânica num meio elástico com frequência acima de 1000 MHz.

Infra – Som – Vibração ou onda mecânica num meio elástico com frequência abaixo do limite inferior da faixa de áudio frequência.

Nível de Audibilidade – Definido por:

$$L = 20 \log \left(\frac{P_{ef}}{P_{ref}} \right) \text{ 1Khz} \quad (2.11)$$

Onde P_{ef} é a pressão efetiva do som de um som puro de 1KHz que é julgado, por um “observador normal”, sob condições determinadas, como de mesma audibilidade, sendo $P_{ref} = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$.

Nível de Som - Nível de um som medido em dB fornecida por um medidor de nível de som.

Período – Tempo para a execução de um ciclo.

Potência – Força do som.

Ruído – Mistura de tons, cujas frequências diferem entre si por um valor inferior à discriminação (em frequência) do ouvido.

Ruído Branco – Ruído de natureza estática e estocástica, e que tem distribuição de energia constante.

Sensibilidade do Transdutor – Relação entre a pressão do som e a potência elétrica que a origina (ou que é originada por ela).

Som – Combinação de dois ou mais tons ou toda vibração em um meio elástico dentro da faixa de áudio – frequência.

Tom – Vibração ou onda mecânica num meio elástico com variação senoidal no tempo.

Timbre – Combinação entre frequência e amplitude; permite distinguir uma fonte sonora de outra.

Transdutor Eletro – Acústico – Dispositivo capaz de transformar energia elétrica em acústica, sem alterar a frequência.

Ultra – Som – Vibração ou onda mecânica num meio elástico com frequência acima do limite superior da faixa de áudio frequência.

Volume – Produto do deslocamento de partículas, devido à perturbação acústica, pela área em consideração.

2.8.Meios de Propagação

Por se tratar de um movimento mecânico, a vibração sonora precisa de um meio para existir. É necessário haver o choque entre as moléculas do meio, por isso no vácuo não pode existir som, pois não há moléculas para se chocarem em um movimento ondulatório (NEPOMUCENO, 1968).

O som se propaga mais rápido em sólidos que em líquidos e nestes últimos, mais rápido que nos gases, novamente porque as moléculas nos sólidos estão mais juntas que nos líquidos e daí em diante. Em líquidos e em gases a velocidade do som também pode variar com a temperatura, outro fator que interfere na separação e agitação dos átomos. O som, nestes meios, diminui de velocidade com o aumento da temperatura. O som é tridimensional, podendo se propagar pelas três dimensões conhecidas.

2.9.Fenômenos de Propagação

As ondas sonoras obedecem aos mesmos fenômenos gerais da propagação ondulatória. Em razão da sua natureza, o som não pode ser polarizado, mas sofre a ação dos outros fenômenos, tais como reflexão, refração, interferência, difração e efeito Doppler. O som é uma onda que se caracteriza como onda mecânica quanto à natureza e longitudinal quanto à sua propagação, e tem frequência compreendida entre 20 hertz e 20 000 hertz, conforme já dito nesse trabalho. Onda mecânica porque precisa de um meio para se propagar e longitudinal porque a direção de propagação se coincide com a direção de vibração (NEPOMUCENO, 1968).

Apesar de o sistema auditivo humano apenas conseguir captar ondas sonoras dentro de uma faixa de frequência entre 20 e 20kHz, alguns animais, como morcegos e golfinhos, possuem uma capacidade auditiva muito maior, podendo captar sons em frequências superiores aos 20kHz, o seja, conseguem captar ultra-sons.

2.9.1. Reflexão

As ondas sonoras obedecem às mesmas leis da reflexão da ondulatória. A reflexão de uma onda sonora acontece quando ela encontra um obstáculo e retorna para o meio de origem de propagação. O acontecimento desse fenômeno pode dar origem a dois outros fenômenos que são chamados de eco e reverberação. O eco acontece quando o som refletido retorna após o som original ser extinto totalmente. Na reverberação o som que foi refletido chega ao ouvido antes da extinção do som original, dessa forma ocorre o reforço do som emitido (NEPOMUCENO, 1968), conforme demonstra a Figura 10.

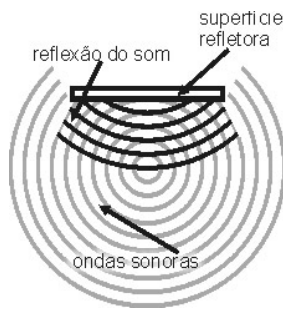


Figura 10 - Reflexão da Onda de Som.

Fonte: <http://www.brasilecola.com/upload/e/reflexao%20do%20som.jpg>

2.9.2. Refração

A refração do som também obedece às leis da refração da ondulatória. A refração em uma onda ocorre quando ela passa de um meio para outro com índice de refração diferente, ocorrendo, dessa forma, a variação da velocidade de propagação e a variação do comprimento de onda, mas nunca a variação da frequência, pois se trata de uma característica da fonte que está emitindo a onda.

2.9.3. Difração

A difração é a propriedade que as ondas têm de contornar obstáculos e que depende do comprimento da onda que está se propagando. Através da razão entre o comprimento de onda e a largura do obstáculo podemos calcular o grau de difração de uma onda específica, matematicamente podemos escrever:

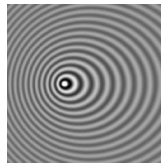
$$r = \lambda/d \quad (2.12)$$

Quanto maior for a razão maior será a extensão da curva de difração. Esse é o fenômeno que explica o fato de podermos ouvir atrás da porta quando uma pessoa fala do outro lado dela, além de ser um acontecimento largamente aplicado nas montagens de sistemas de alto-falantes.

2.10. Efeito Doppler

Trata-se de uma mudança na frequência do som devido ao movimento relativo entre a fonte emissora do som e o observador. A frequência do som emitido por um objeto em movimento, para um observador parado, parece aumentar quando o objeto se aproxima dele e diminuir quando se afasta.

O *Efeito Doppler* é usado para distinção entre objetos parados e objetos em movimento e para fornecer informação sobre a velocidade dos mesmos, através da medição da diferença de frequência entre o som emitido e o som refletido, e depende somente do movimento radial entre a fonte e o receptor, ou seja, do movimento de aproximação ou afastamento entre eles. A Figura 11 descreve o comprimento das ondas do *Efeito Doppler*.



Fonte: Figura 11 - Efeito Doppler

http://galeria.blogs.sapo.pt/arquivo/Ilustracao_das_ondas_sonoras_emitidas_de_um_objecto_em_movimento.jpg

Um exemplo típico do *Efeito Doppler* é o caso de uma ambulância com a sirene ligada quando ela se aproxima ou se afasta de um observador. Quando ela se aproxima do observador o som é mais agudo e quando ele se afasta o som é mais grave. Esse é um fenômeno característico de qualquer propagação ondulatória, e ele é muito mais presente no cotidiano do que pensamos. O *Efeito Doppler* é utilizado para medir a velocidade de objetos através de ondas que são emitidas por aparelhos baseados em radiofrequência ou lasers como, por exemplo, os radares. Na astronomia esse fenômeno é utilizado para medir a velocidade relativa das estrelas e outros objetos celestes em relação ao planeta Terra. E na medicina o *Efeito Doppler* é utilizado nos exames de eco cardiograma para medir a direção e a velocidade do fluxo sanguíneo ou do tecido cardíaco.

O *Efeito Doppler* não ocorre somente com o som. Como foi dito, esse fenômeno é característico de propagações ondulatórias, ou seja, é possível observar esse fenômeno com qualquer tipo de onda. Dessa forma, podemos observar o *Efeito Doppler* com a luz, que também é uma onda. Para esse caso, o fenômeno do *Efeito Doppler* se manifesta na mudança de cor que é percebida pelo observador, uma pessoa, por exemplo, que se aproxima de um sinal de trânsito que está vermelho, percebe a coloração vermelha mais intensa

se ela estiver parada, pois a frequência de onda luminosa é maior do que quando a pessoa está em movimento.

Para se calcular a frequência de onda resultante do *Efeito Doppler*, utiliza-se a seguinte relação:

$$Fd = Fs \times \frac{Vr}{Cs} \quad (2.13)$$

Onde:

Fd: Frequência *Doppler* (Hz).

Fs: Frequência do Som quando a fonte emissora está em repouso (Hz).

Vr: Velocidade relativa entre a fonte emissora e receptora (m/s).

Cs: Velocidade do Som

2.13. Ruídos

Para que se defina bem o que vem a ser ruído, há que se análise duas frentes de observação além da ordem física do fenômeno: a fisiologia e a psicologia. Observando sob o ponto de vista fisiológico, ruído pode ser um som que produz uma sensação auditiva desagradável, que gera desconforto e pode inclusive ser perigoso, devido à sua pressão. Na ordem psicológica, pode-se entender ruído por um som aperiódico que não se traduz em um sentido agradável, porém sem impactos fisiológicos.

Contudo, no estudo relativo a esse trabalho, apenas a ordem física do ruído é importante, e podemos definir como um som complexo e aperiódico, que interfere de forma negativa no sinal original gerado. Pode-se citar como exemplo, a interferência causada em um sistema de alto falantes no qual parte da fiação de transporte do sinal elétrico de áudio sofre influência de uma fonte de energia eletromagnética, como um cabo de tensão de alimentação.

2.14. Instrumentação

Inúmeros equipamentos e métodos para captação do som podem ser utilizados, embora o resultado seja sempre o mesmo, havendo variação apenas em características como qualidade do sinal sonoro, alcance da captação e etc. Nos tópicos abaixo são descritos alguns tipos de equipamentos

para captação de ondas sonoras, dentre eles os equipamentos utilizados nesse projeto. Adicionamento à captação sonora, também são descritos alguns equipamentos que, embora não tenha relação direta com a captação de ondas de som, podem ser utilizados como outras fontes de entrada de informação para o SIREMAS.

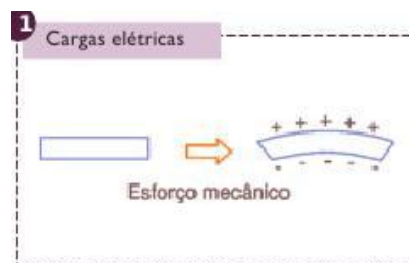
2.14.1. Transdutores

De uma forma geral, os instrumentos utilizados para captação de medidas de são denominados *transdutores*, que se trata de dispositivos que recebem um sinal e o transmitem, independente da conversão de energias. Restringindo esse conceito, denota-se um transdutor como um dispositivo capaz de traduzir uma energia em outra, utilizando para isso um elemento sensor, como por exemplo, a transformação de uma grandeza não elétrica (velocidade, posição, temperatura, entre outras) em uma informação elétrica (corrente, tensão, entre outras).

Um elemento sensor bastante utilizado, e faz parte deste trabalho, é o cristal piezelétrico, que atua na transdução de vibrações sonoras em corrente elétrica, e é mais detalhado no tópico seguinte.

Essa transdução somente é possível devido à capacidade que alguns materiais possuem para gerar pequenas cargas elétricas em frequências fixas quando submetidos a um esforço mecânico. Dentre os materiais com essas características, pode-se citar o cristal de quartzo e a cerâmica de Titanato de Bário, utilizados em grande escala industrial. As Figuras 12 e 13 denotam o comportamento das transduções desses materiais.

Figura 12 - Esforço em um material Piezelétrico.



Fonte: http://www.mecatronicaatual.com.br/files/image/figura_1_transdutores_piezoeltricos.jpg

Essa saída elétrica gerada em frequência determinada e fixa, permite a construção de dispositivos eletrônicos de controle de tempo, por exemplo. De

forma análoga, o cristal piezelétrico, ao ser submetido a uma carga elétrica, sofre deformação, como visto na Figura 13.

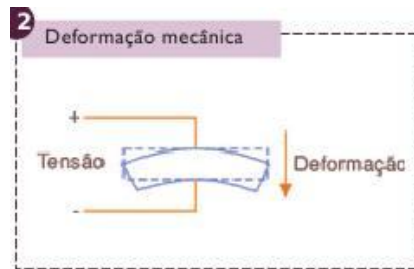


Figura 13 - Deformação após tensão aplicada.

Fonte: http://www.mecatronicaatual.com.br/files/image/figura_2_transdutores_piezoeltricos.jpg

Mas, esses transdutores também funcionam de forma inversa, captando vibrações ou sons. Assim, se falarmos diante de um transdutor deste tipo, ele vai converter as vibrações sonoras correspondentes ao som em sinais elétricos, conforme exibe a Figura 14. O transdutor irá operar como um microfone.

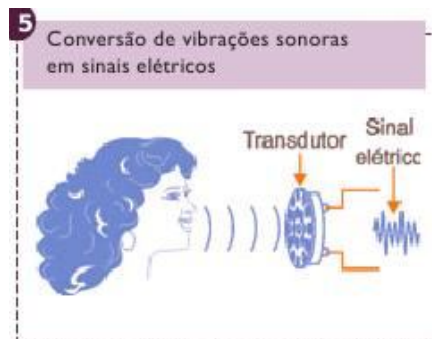


Figura 14 - Conversão de sinal mecânico para elétrico.

Fonte: http://www.mecatronicaatual.com.br/files/image/figura_5_transdutores_piezoeltricos.jpg

Sabendo-se o que são materiais piezelétricos, como funcionam e para quê servem, o próximo ponto de decisão baseia-se em qual material utilizar, a cerâmica ou o quartzo. Para isso, devem-se ponderar alguns fatores, entre eles a impedância dos materiais, conforme a Figura 15:

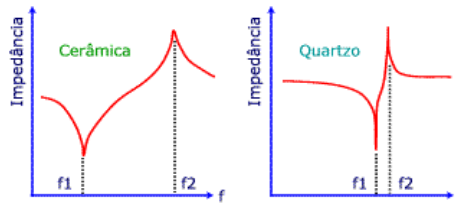


Figura 15 - Impedância x Frequência de materiais piezelétricos.

Fonte: <http://www.mspc.eng.br/elettrn/im01/piezo108.gif>

A Figura 15 deste tópico mostra curvas típicas da variação da impedância em função da frequência. Os valores f_1 e f_2 são respectivamente as frequências de menor e maior impedância. A frequência de ressonância está entre ambas.

O quartzo apresenta menor tolerância de frequência, menor variação com a temperatura e menor capacitância própria e, por isso, é adequado para frequências mais altas. A cerâmica tem melhor resistência mecânica, menor volume e menor custo, e por isso é usada em diversas aplicações, onde as melhores características do quartzo não são determinantes.

2.14.1.1. Hidrofones

São transdutores piezelétricos resistentes à água, que transformam a energia mecânica de vibrações em um meio elástico, em energia elétrica, possibilitando o processamento digital dessa informação mecânica. Para o desenvolvimento do projeto SIREMAS, esse artefato é de suma importância, pois se trata do dispositivo que permite o acionamento do circuito de alarme.

Há diversas marcas e modelos disponíveis no mercado, porém, devido à seu alto custo, optou-se pelo desenvolvimento deste tipo de instrumento, baseando-se no microfone de eletreto. Isso somente é possível devido às características naturais das vibrações sonoras, que se propagam também em um meio mais denso, como a água.

2.14.1.2. Sensores de Presença

Embora não seja o foco de análise desse trabalho, que trata de análise acústica há que se propor uma análise proativa ou mais precisa em relação o

objetivo fim desse projeto, e para tanto, a utilização de sistemas adicionais pode ser definidos de acordo com os seguintes transdutores, como listados nos tópicos a seguir.

2.14.1.2.1. Infra Vermelho

Uma vez concebida uma área imaginária de controle externa ao interior da piscina ou tanque, é possível a criação de um perímetro de observação, no qual sensores infravermelhos podem acionar um pré-alarme no PIC quando houver uma perturbação em seu perímetro, abrindo o circuito ótico componente do sensor. Essa abertura identificaria uma pessoa ou animal em uma área próxima do objeto principal de observação.

2.14.1.2.2. Laser

De forma análoga ao sensor de infravermelho, um perímetro definido por feixes de laser poderia, ao ser cortado devido a uma perturbação, acionar o relé de alarme no PIC. Sua vantagem em relação ao sensor de baixa frequência é a precisão.

2.14.2. Sensor Ultra Sônico de Distância

Utilizando-se dos conceitos de propagação e reflexão de ondas de som, pode-se lançar mão de um transdutor ultra-sônico para medir distâncias de objetos. Um pulso é enviado por esse transdutor a uma frequência pré-determinada, e é esperada uma resposta a esse pulso quando houver interferência física de uma massa sólida ou de alta densidade. Baseado no tempo de envio e resposta desse pulso, o sistema (que já é calibrado de fábrica) permite estabelecer a distância entre o sensor e o objeto em questão, e essa análise somente é possível devido ao *Efeito Doppler*.

2.15. Sensor de Pressão

Embora haja um grande percentual de acerto na análise da amplitude do sinal de áudio captado pelos hidrofones, o uso associado de um sensor de pressão, localizado no fundo da piscina ou tanque, pode funcionar como um segundo ponto de entrada de informação, que captaria a variação da pressão da coluna de água adicional, oriunda do deslocamento de massa de água quando um corpo é imerso no fluido. Havendo uma variação significativa, as portas de saída podem ser acionadas, e em conjunto com a captação de áudio, acionar os relés de alarmes.

2.16. O Software OCTAVE

O software *OCTAVE* é um programa de computador de linguagem em alto nível, desenvolvido inicialmente para cálculos matemáticos. De código fonte aberto, sob a licença GNU GPL, ele provê uma interface em linha de comando para resolução de problemas lineares e não lineares. Com ele é possível, além da resolução de equações complexas, a geração de gráficos para análise de valores.

O *Octave* possui diversas bibliotecas para tratamento de equações diferenciais, integrais, manipulação de polinômios, e é altamente configurável, com o uso de programação feita na própria linguagem do *Octave* ou utilizando-se código C, C++, Fortran ou outras linguagens.

Nesse projeto, a utilização do programa *Octave* se restringiu à análise dos sinais de entrada provenientes da central de controle SIREMAS, para exibição gráfica da amplitude das ondas de som em dois estágios, sendo o primeiro a análise diretamente da saída do Hidrofone, e um segundo estágio, após o tratamento por filtro, dentro do microcontrolador.

3. Componentes Eletro Eletrônicos

Neste capítulo são explicitadas as características eletro-eletrônicas do projeto desenvolvido. Para cada componente é dedicado um sub-tópico que descreve suas características, funcionamento e razão pela qual é utilizado no projeto SIREMAS.

3.1. O Microcontrolador ATMEGA328P

Para automação de estruturas de decisão em circuitos eletrônicos pode-se usar uma grande variedade de recursos, e dentre esses recursos, destacam-se os micro controladores, que são chips de silício contendo algumas funções básicas de um computador. São funções básicas para atividades de entrada, processamento e saída, de forma que em um único chip de microcontrolador pode-se encontrar um módulo de processamento, um espaço para memória RAM, outro espaço para memória ROM e pontos de entrada e saída de informação.

Há vários modelos de micro controladores, de diversos fabricantes, e para esse projeto foi escolhido o ATMEGA328P (vide Figura 16), fabricado pela *Atmel Products*. Esse modelo foi escolhido pela facilidade de programação, integração à placa *Arduino Duemillanove* e por conter elementos essenciais ao desenvolvimento desse projeto acadêmico, muito embora seja possível o desenvolvimento do mesmo utilizando-se controladores menores e mais baratos, com circuitos otimizados. Por tratar-se de um projeto acadêmico sem foco comercial, não foi tratada a miniaturização do circuito.

Como principais características do ATMEGA328P, segue uma lista de seus recursos, embora nem todos sejam utilizados nesse projeto:

- Pertence à família MEGA AVR
- Tecnologia *picoPower* para baixo consumo de energia
- 32K Byte de Flash Program Memory,
- 2K Byte de SRAM,
- 1K Byte EEPROM,
- 8 canais de 10-bit A/D-converter(TQFP/MLF).
- *debugWIRE On-chip Debug System*.
- Até 20 MIPS de performance em 20 MHz.
- Disponível em chassi 28 dip

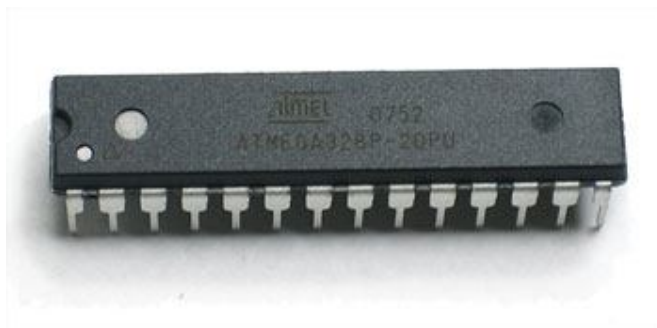


Figura 16 - ATMEGA328P.

Fonte: http://blogdoje.com.br/wp-content/uploads/2008/10/atmega328_med.jpg

O ponto importante deste chip é que ele pertence a “família” do ATMEGA8/168 e isto possibilita que seja usado diretamente no Arduino sem problemas de compatibilidade elétrica, imediatamente disponibilizando 32k de memória (equivalente a memória do ATMEGA32) para os sketches, ou seja, o dobro da memória do atmega168.

Obviamente modificações deverão ser feitas na IDE do Arduino para suportar a substituição para este novo chip nas configurações de memória, definição do chip para o compilador, etc. A *LadyAda* está disponibilizando em seu site uma versão do Arduino 0011 para Windows com suporte para o ATMEGA328 e está trabalhando na versão 0012.

Em consulta ao o site da Digikey sobre o chip e ele já está no catálogo, mas não está disponível para entrega imediata, as ordens pedidas agora provavelmente serão atendidas no meio de dezembro. O preço no site para a versão DIP de 28 pinos é de US\$ 2.66 dólares americanos para quantidade mínima de 504 unidades.

A Figura 17 apresenta o diagrama de pinos do microcontrolador ATMEGA328P.

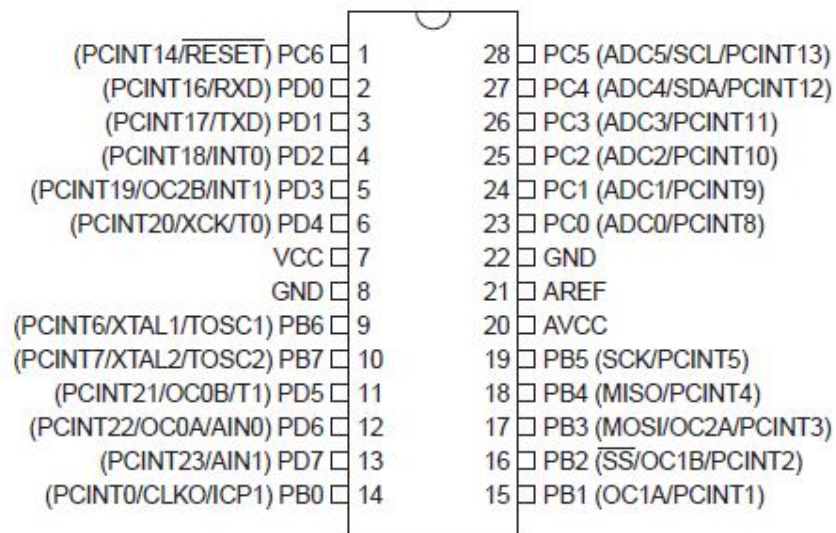


Figura 17 - Pinagem do ATMEGA328P.

Fonte: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/8161S.pdf

3.2. O conversor A/D

Embora tratemos de um sistema de análise digital praticamente todas as entradas de dados de qualquer sistema são analógicas, pois vivemos em um mundo analógico. Os transdutores atuam de forma crucial nesse ponto, porém sua atuação nesse trabalho se limita a alterar a energia de origem em energia elétrica, ainda sob a forma analógica.

Essa situação é contornada com o uso de um conversor de sinais, que atua como um protocolo de comunicação entre as entradas analógicas e seu tratamento sob a forma digital. Ambos os controladores possuem conversores analógico - digital interno (A/D) que realizam a conversão por aproximação, recurso este denominado *conversor de aproximação sucessiva* (SOUZA, 2005).

Ambos possuem dois conversores A/D com 10 bits de resolução cada um, porém somente um foi utilizado nesse projeto, centralizando a informação a ser transmutada.

Esse processo é feito da seguinte forma: um determinado transdutor, como um sensor de temperatura ou microfone, fornece uma saída elétrica cuja tensão varia de acordo com a variação da entrada analógica, e ao ser analisado pelo A/D, tem seu menor passo, ou resolução, definido por seu número de bits e pode ser definido por (SOUZA, 2005):

$$Resolução = \frac{V_{ref}}{2^n} \quad (3.14)$$

Onde: Vref é a tensão de referência e n o número de bits do conversor.

Por exemplo: Se o Vref for 5 volts e a quantidade de bits for 8, como neste caso, a menor resolução permitida é $5/28 = 0,01953$. Ou seja, a menor resolução permitida seria de 19,53mV. A conversão é feita bit a bit e vem do mais significativo para o menos significativo, sendo que o bit mais significativo representa a metade da tensão de referência. Conhecendo este valor (0 ou 1), é sabido que o valor da entrada é maior ou menor que a metade da tensão de referencia. Depois de conhecer o valor deste bit passa para o próximo. Este bit representa a metade da metade do bit testado anteriormente, neste caso $\frac{1}{4}$ do valor de referencia. A conversão segue assim bit a bit até chegar ao bit menos significativo (SOUZA, 2003, 2005). Suponha a conversão com 8 bits e a tensão de referencia de 5V. A Tabela 05 mostra como é feita a conversão.

Tabela 05 – Escala de Conversão Analógico - Digital.

BIT	TENSÃO
8	2,5V
7	1,25V
6	0,625V
5	0,3125V
4	0,15625V
3	0,078125V
2	0,0390625V
1	0,01953125V

Fonte: O Autor

Para conversão de uma tensão de entrada de 3,8V, por exemplo, o procedimento pode ser dado pela Tabela 06:

Tabela 06 – Sequência de Análise e Digitalização de Sinal.

Sequência	Bit Analisado	Decisão sobre valor da tensão	Representação Binária da Tensão
1	Bit mais significativo	A tensão é maior que 2,5V?	Sim, bit igual a 1
2	Próximo bit	A tensão é maior que 3,75V (2,5V+1,25V)?	Sim, bit igual a 1
3	Próximo bit	A tensão é maior que 4,375V (2,5V+1,25V+0,625V)?	Não, bit igual a 0
4	Próximo bit	A tensão é maior que 4,0625V (2,5V+1,25V+0,3125V)?	Não, bit igual a 0
5	Próximo bit	A tensão é maior que 3,90625V (2,5V+1,25V+ 0,15625V)?	Não, bit igual a 0
6	Próximo bit	A tensão é maior que 3,828125V (2,5V+1,25V+ 0,078125V)?	Não, bit igual a 0
7	Próximo bit	A tensão é maior que 3,7890625V (2,5V+1,25V+ 0,0390625V)?	Sim, bit igual a 1
8	Próximo bit	A tensão é maior que 3,80859375V (2,5V+1,25V+0,0390625V+ 0,01953125V)?	Não, bit igual a 0

Fonte: O Autor

O valor final desta conversão em binário é: 11000010, e esta forma de conversão é bem rápida, pois para converter n bits são necessárias n interações.

3.3. Pré Amplificador Operacional

O sinal gerado pelo microfone de eletreto é de uma voltagem extremamente baixa, na ordem de micro volts, o que impossibilita uma leitura direta de suas medidas. Para se contornar essa dificuldade, foi utilizado um pré-amplificador operacional, que eleva a tensão do sinal de entrada, possibilitando a leitura desse sinal pelo microcontrolador.

Por definição, o Amplificador Operacional é um circuito de alto ganho, e sua função é aumentar a diferença algébrica entre dois valores quaisquer V_1 e V_2 (positivos, negativos ou nulos em relação ao terra) aplicados respectivamente às entradas V_+ e V_- de um circuito (JUNIOR, 2009). A Figura 18 representa o diagrama básico de um amplificador operacional genérico.

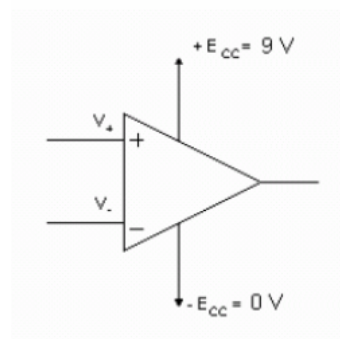


Figura 18 - Esquema básico de um Amplificador Operacional

Fonte: O Autor

Portanto, para um amplificador operacional ideal, o sinal de saída é dado por:

$$Vs = AO \times (v1 - v2) \quad (3.15)$$

Onde:

AO - Ganho do amplificador.

Vs – tensão de saída

V1 – Sinal positivo de entrada

V2 – Sinal negativo de entrada

Devido às características do microfone de eletreto, foi necessária a busca por um circuito de amplificação que também realizasse a filtragem de sinal, e um modelo foi encontrado na página web da *Sparkfun*. Abaixo, a figura 19 exibe esse diagrama.

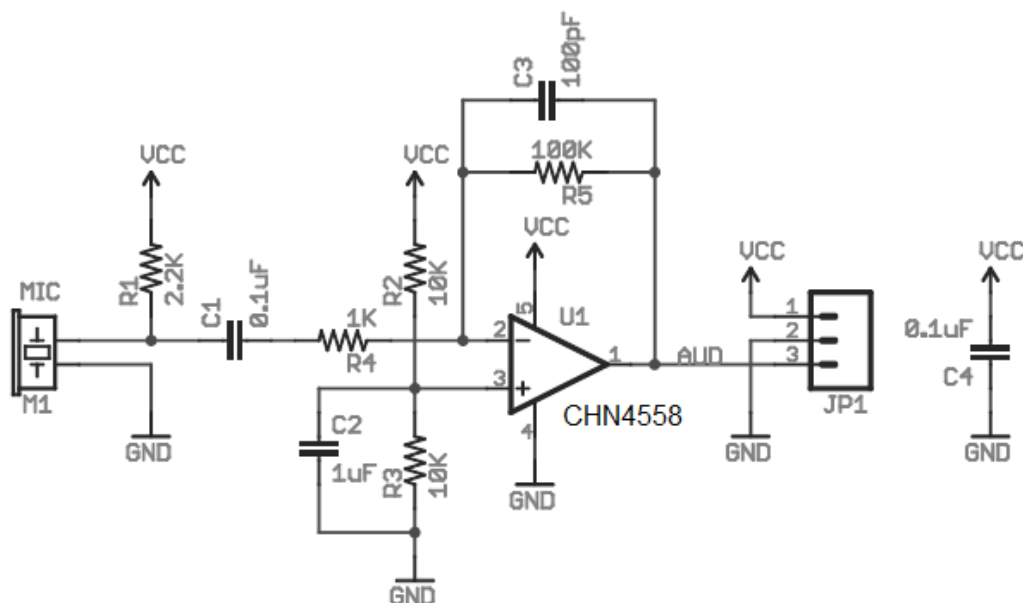


Figura 19 - Diagrama do Circuito do Pré Amplificador Operacional

Fonte: http://www.sparkfun.com/datasheets/iPod/iMic_v01.pdf

3.4. Placa Laboratório Arduino Duemillanove

A placa de laboratório *Arduino Duemillanove* é baseada no microcontrolador ATmega328P e foi utilizada nesse projeto devido à sua facilidade de uso, tanto para a programação do controlador quanto para o uso de suas portas de entrada e de saída. Possui 14 portas digitais para entrada ou saída, dentre as quais 6 podem ser utilizadas como saídas PWM (*Pulse Width Modulation*), 6 entradas analógicas, cristal interno de 16 MHz, conexão USB para dados e alimentação, botão de reset, entre outros recursos. Sua simplicidade no uso foi determinante para a escolha, visto que por haver um *bootloader* pré gravado no controlador, o processo de gravação e edição é extremamente simples, não havendo necessidade de outros equipamentos para tanto. Para o uso, pode ser alimentada pela porta USB ou com um fonte DC de 7 a 12V.

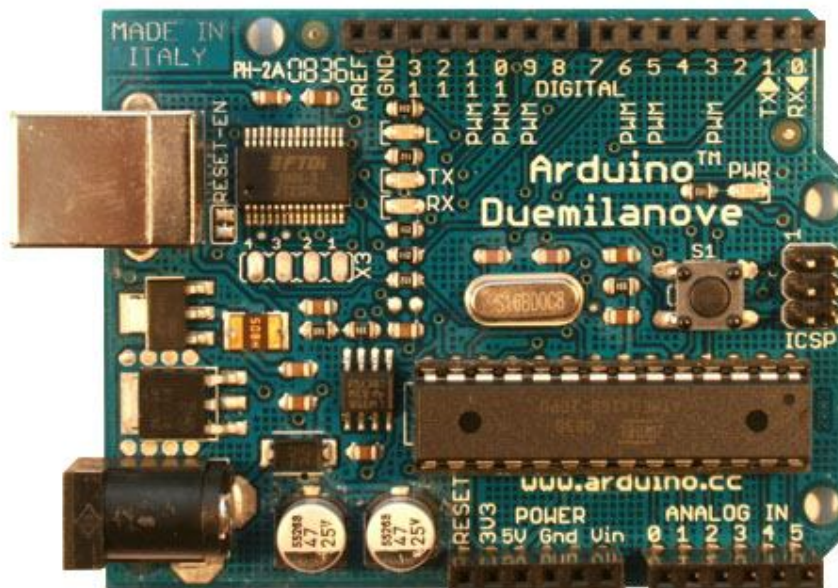


Figura 20 - Placa Arduino Duemillanove

Fonte: <http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoDuemilanove.jpg>

A Tabela 07 descreve um resumo das características operacionais da placa.

Tabela 07 – Características da placa Arduino Duemillanove

Microcontrolador	ATmega328P
Voltagem Operacional	5V
Voltagem de Entrada	7 ~ 12V
Pinos Digitais (I/O)	14 (6 PWM)
Pinos Analógicos	6
Corrente por Pinos	40mA
Corrente Saída 3.3V	50mA
Memória Flash	32KB(2KB para Bootloader)
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Clock	16MHz

Fonte: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDuemilanove>

A alimentação é um fator de extrema importância para o bom funcionamento da placa, pois uma alimentação inferior à 6V pode fazer com que as portas de saída não consigam gerar as tensões e correntes esperadas, e uma tensão de entrada superior à 12V pode ocasionar em danos aos circuitos da placa. A seguir, a descrição dos pinos de alimentação.

- **VIN.** É a entrada de tensão quando a placa Arduino é alimentada por uma fonte externa. Caso a alimentação venha diretamente do jack de conexão para alimentação, esse pino pode servir para fornecer alimentação à outros componentes.
- **5V.** Fonte regulada utilizada para alimentar o microcontrolador e outros componentes da placa. Pode vir de uma entrada Vin, pela USB ou por outra entrada regulada a 5V.
- **3V3.** Saída de alimentação de 3.3V, gerada pelo chip on board FTDI. A corrente máxima é de 50mA.
- **GND.** Terra.

Outra característica favorável ao uso da tecnologia Arduino é sua facilidade de programação. Em um ambiente de programação próprio para as placas *Arduino* usa-se a programação em C/C++, com recursos exclusivos desenvolvidos com base na linguagem “*Wiring*”. Por já vir montada com um *bootloader* a placa *Arduino Duemillanove* permite a gravação direta no chip, sem necessidade de um equipamento de gravação. A comunicação com o computador de programação é feita através do protocolo STK500, e permite saídas em tela quando explicitadas na linha de código compilada e gravada no controlador.

Sempre que é feita uma gravação do software no controlador da placa, automaticamente é feita re-inicialização do circuito, onde as memórias internas são sobrescritas com as novas linhas. Embora a gravação force um reinício do sistema, essa ação não fica presa a esse evento, pois a placa dispõe de um botão de reset, o qual ao ser pressionado gera um reinício do circuito, limpando as variáveis internas da programação e levando o controlador ao seu estado inicial logo após a gravação de um novo código.

3.5. Protoboard

Bandeja de trabalho na qual as conexões são feitas sem necessidade de solda. Possui conexão em série para as linhas, e através de “*jumpers*” fecha-se os circuitos entre linhas.

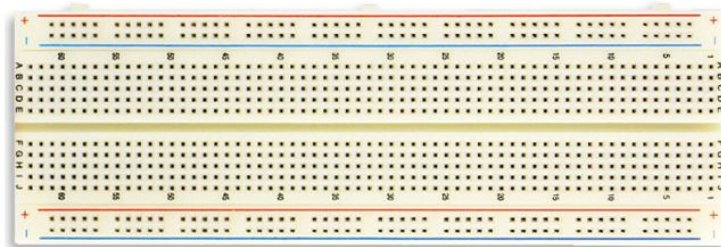


Figura 21 - Protoboard Minipa de 830 furos.

Fonte: http://www.reidasvalvulas.com.br/catalog/images/mp-830_g.jpg

Foi utilizado do modelo de 830 furos da Minipa, com dimensões de 165 x 54 x 8.5 mm. Abaixo, suas características técnicas.

- Número de Furos: 830.
- Composição (Base de Terminal): 2 x 315 Furos.
- Composição (Soquete de Distribuição): 2 x 100 Furos.
- Material do Corpo: Polímero ABS.
- Material do Contato: Bronze Fosforoso.
- Acabamento do Contato: Banho de Níquel.
- Bitola Fios de Conexão: 0,4mm ~ 0,7mm.
- Corrente Máxima: 1A RMS.
- Tensão Máxima: 250V RMS.
- Resistência de Contato (1kHz): 1mΩ Máximo.
- Rigidez Dielétrica: 1000V RMS por 60s.
- Dimensões: 165(A) x 54(L) x 8,5(P)mm.
- Peso: 85g.

3.6. Componentes Eletrônicos

Na composição do circuito inteiro, foram utilizados componentes eletrônicos comuns, que (à exceção de alguns) são facilmente encontrados em quaisquer lojas de componentes eletrônicos, e a preços justos. A Tabela 08 exibe os componentes utilizados e as quantidades dos mesmos.

Tabela 08 – Componentes eletrônicos utilizados.

Componente	Grandeza	Quantidade
Resistor	2.2k	1
Resistor	1k	1
Resistor	10k	2
Resistor	100k	1
Capacitor	0.1uF	2
Capacitor	1uF	1
Capacitor	100pF	1
CI	CHN4558	1
LED	5V	2
Buzzer	5V	1

Fonte: O Autor

3.7. Fontes de Alimentação

Foram usadas duas fontes distintas, uma 12V proveniente da fonte universal 26331, da TMS Microsistemas, como visto na Figura 22. Essa fonte possui entrada chaveada de 110/220Vac a 50/60Hz, com saídas também chaveadas de 1,5V, 3V, 4,5V, 6V, 7,5V, 9V e 12V. Sua carga máxima é de 700mA, e para o desenvolvimento do SIREMAS suas configurações foram chaveadas para entrada de 220V e saída de 12V.



Figura 22 - Fonte TMS de alimentação 12V.

Fonte: <http://www.commerce-center.com.br/imagem.php?imagem=11050001.jpg>

A outra entrada de alimentação do sistema é via USB, para a placa *MultiPIC*, pois além de a mesma já estar preparada para essa porta de conexão, a voltagem de entrada (5Vdc) é fornecida naturalmente pela porta USB.

Nota: Embora haja conexão USB para alimentação, nenhum dado é transferido entre o computador pessoal e o SIREMAS, nem vice versa.

3.8. Sirene

A concepção inicial do SIREMAS baseou-se na utilização de uma sirene externa, de alta frequência e potência, e para isso optou-se pelo uso da sirene *DNI 4042 Compact*, da DNI Condutores Elétricos, que gera 120 dB a 0.25A. Contudo, devido ao alto grau de decibéis desse equipamento e pela demonstração acadêmica do SIREMAS, esse dispositivo foi alterado para um menos potente. A escolha foi uma sirene, também conhecida como *Buzzer*, de

montagem em placas de circuito impresso, da marca *Kingstate* modelo KPE-272, vide Figura 23. Abaixo, as especificações:

- Frequência de Operação: 3,5KHz
- Voltagem de Operação: de 3 a 28 Vdc
- Consumo: 6mA @ 12Vdc
- Pressão Sonora: 88dB @ 12Vdc (a 30 cm)
- Dimensões: 32mm (Diam) x 15mm (Alt)



Figura 23 - Buzzer PCB Piezelétrica de 88 dB.

Fonte: <http://www.futurlec.com/Pictures/BuzzerPCB1.jpg>

3.9. Diodo (LED)

O diodo é um semicondutor que permite a passagem de corrente quando polarizado e a impede quando não polarizado. Uma de suas aplicações, é o diodo emissor de luz, conhecido também como LED (*Light Emiting Diode*). São feitos em várias cores, de acordo com o material semicondutor com o qual é montado (silício ou germânio, na maioria deles). Nesse trabalho, foi utilizado um LED branco, tamanho padrão de 5 mm (T-13/4), conforme mostrado na Figura 24. Para que seja corretamente polarizado, o LED é confeccionado com seu pólo positivo mais extenso que o negativo, apenas para identificação quando se utilizando em um circuito. Esse pólo positivo deve ser ligado ao fluxo do circuito com maior tensão elétrica.



Figura 24 - LED de saída visual.

Fonte: <http://www.cyberconductor.com/images/5mm20yellow20led.jpg>

3.10. Transdutor – Hidrofone

Devido à dificuldade em se localizar esse item no mercado e ao seu alto preço, optou-se pela construção caseira de um Hidrofone. Após estudos e o diagnóstico de que o princípio de funcionamento é basicamente o mesmo de um microfone terrestre, utilizou-se de microfones de eletreto, envolvidos em um invólucro impermeável para se fazer a captação de som no ambiente aquático.

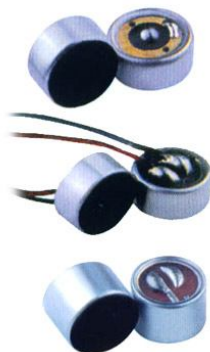


Figura 25 - Microfones de eletreto.

Fonte: http://mig.pand.googlepages.com/Condenser_Microphone.jpg

O microfone de eletreto é um tipo de microfone de condensação, e é composto de um elemento eletrostático (o eletreto) e de um magneto. Este dispositivo é obtido embebendo uma carga permanente num dielétrico e alinhando as cargas no material construindo assim um magneto (ímã). Devido à sua alta resistência, e estabilidade química do material, sua carga elétrica não irá diminuir por muitos anos, sendo um perfeito mecanismo para instalações subaquáticas. Como principais características notam-se o seu reduzido tamanho e alta sensibilidade, além de sua longa utilização.

Para garantir o funcionamento, as conexões foram encapsuladas em um invólucro de epóxi, que além de garantir um isolamento elétrico e quanto à umidade, permite também uma melhor fixação do eletreto ao cabo de conexão. Uma vez seco o revestimento de epóxi, o microfone foi envolto em uma camada de fita isolante, para evitar o contato de sua massa (a altura em relação ao diâmetro) e também para aumentar sua espessura. Esse aumento de grandeza se deve à um melhor encaixe no invólucro externo, uma pequena garrafa de cosmético, contendo óleo vegetal. Como o óleo é menos denso que a água, o conjunto permite que (com o uso de um lastro), o eletreto flutue na massa de água, evitando choques mecânicos com o fundo do aquário. Porém observou-se que existe uma maior eficiência quando se utilizando um invólucro preenchido com ar, ao invés de óleo vegetal, pois, embora a flutuação do conjunto com óleo não necessite de lastro, a sensibilidade do conjunto com ar é maior.



Figura 26 – Microfones de eletreto em cápsula plástica.

Fonte: O Autor

Na outra extremidade do cabo, um conector P1 foi instalado para facilitar a troca de transdutores conectados central de processamento. Dessa forma, durante os testes, foi possível a realização de diversas trocas de hidrofones, até que se atingisse o objetivo funcional do mesmo.

3.11. Computador Pessoal

Para o desenvolvimento do projeto do circuito, pesquisa e escrita do arquivo de monografia, foi utilizado um computador pessoal portátil, executando *Windows Vista Business Edition*. Como não existe interação entre o circuito elétrico do SIREMAS e um computador pessoal, o uso desse equipamento se restringiu à programação do código *C/ASSEMBLY*, que posteriormente foi gravado no microcontrolador. Para o funcionamento do SIREMAS não é

necessário haver conexão com qualquer tipo de computador, seja pessoal ou de grande porte.

3.12. Programação e Simulação de Circuito

A variedade de combinações possíveis que se obtém com o uso de um circuito micro controlado é imensa. Ao invés de que sejam construídos enormes circuitos eletrônicos para se tratar um sinal de entrada, um CI pode centralizar as estruturas de comparação e decisão, tornando a montagem de circuitos eletrônicos extremamente mais simples e eficiente.

Com isso, foi elaborado um algoritmo de tratamento dos sinais captados pelos transdutores, que embora sejam apenas sinais elétricos, representam grandezas naturais e podem ser tratados com o uso de programação. Ambos os controladores abordados nesse projeto possuem ambientes de programação orientados à linguagem C adaptada, o que facilita o desenvolvimento da programação binária dos mesmos, e abaixo são citados os programas utilizados para a geração desses códigos e sua simulação no projeto do circuito elétrico do projeto SIREMAS.

3.13. Softwares de Programação

Embora o desenvolvimento do projeto tenha sido iniciado com orientação à microcontroladores da família PIC, o que levou à utilização de alguns softwares para programação, a versão final do SIREMAS foi estabelecida sob a plataforma *ATmega*, devido à sua facilidade de uso. Contudo, todos os softwares utilizados foram descritos nesse item, devido ao aprendizado proporcionado.

3.14. O Software *Arduino Development Enviroment*

Trata-se de um ambiente desenvolvido em software livre que permite a programação, gravação e debug do código escrito para os controladores embarcados nas placas Arduino. A linguagem de programação utilizada nesse ambiente é o *Wiring*, uma variação do C/C++, e possui bibliotecas específicas para a programação de controladores. Reconhecem todas as estruturas do C e

alguns recursos de C++, e uma vez gerado o código, é possível compilar o mesmo e gerar o código binário, que é facilmente gravado no controlador.



Figura 27 - Ambiente de programação Arduino.

Fonte: O Autor

3.15. Proteus 7

Software de criação de diagrama, responsável pela montagem virtual do circuito, em um ambiente computacional que permita a simulação do mesmo. Nele, todos os componentes eletrônicos podem ser implementados e terem valores associados para representar a escala real. Quando em simulação, é possível se prever nuances de comportamento, além de que ele possui bibliotecas especiais para praticamente todos os micros controladores, o que permite a importação de um código hexadecimal já preparado. Com esse código importado, é obtido um circuito virtual que representa, de forma computacional, o circuito já desenvolvido ou em desenvolvimento.

Além do recurso de simulação, é possível com o uso do Proteus, a construção do modelo PCB para criação de uma placa em fenolite, fibra de vidro, fibra de poliéster, entre outros.

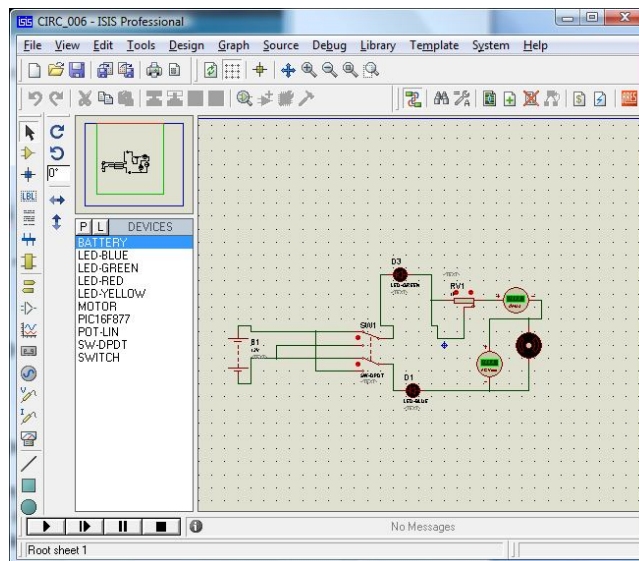


Figura 28 – Ambiente de simulação Proteus 7.

Fonte: O Autor

3.16. Fluxograma – Árvore de Decisão

A Figura 29 descreve o fluxograma de funcionamento das etapas do SIREMAS, desde seu início (*Power On*) até seu desligamento (*Power Down*). O sistema não é executado com o auxílio de um computador pessoal, pois atua de forma totalmente independente, e durante seu funcionamento, algumas etapas de controle são executadas na ordem descrita no fluxograma de funcionamento.

Inicialmente, ao ser ligado, o sistema realiza uma varredura na porta USB à procura de uma conexão com o PC de programação. Quando em operação, essa análise irá resultar em uma resposta negativa, embora estando o PC conectado, não haverá qualquer influência à execução de todo o processo do SIREMAS.

Uma vez ligado, a primeira atividade realizada relativa ao SIREMAS é a calibragem. Nessa etapa, o Hidrofone ausculta por 3 segundos o interior da massa de fluido em monitoração, sem que haja o acionamento das saídas visuais e auditivas. Essa calibração é de suma importância, e não deve haver ruídos externos ou sequer ruídos alheios ao estado de equilíbrio da massa de

fluido. Caso haja interferências durante a etapa de calibração, o limite superior pode ser afetado, ocasionando em um mau funcionamento do SIREMAS. É partir do limite definido como “ruído ambiente” é que é feita a decisão sobre acionar ou não as saídas. São captados dois limites, o superior e o inferior, e a cada um deles é associado um valor em escala de 0 a 1023 para representar essa intensidade sonora. Embora seja também detectado o menor nível de ruído, este não é utilizado na execução do processo, pois infere-se que uma média não é eficiente, pois a sensibilidade do sistema determina o acionamento das saídas assim que houver um ruído mais intenso (na escala, um grau maior) do que o limite superior ambiente captado durante a etapa de calibração.

Definidos os limites, a monitoração efetiva tem início, e serão feitas análises em uma frequência de 1 milissegundo, o que significa que a cada iteração do sistema é feita uma leitura do ruído ambiente, e para cada leitura, um valor da escala é definido. Esse processo se repete até que uma leitura se sobressaia ao valor do limite superior do ambiente.

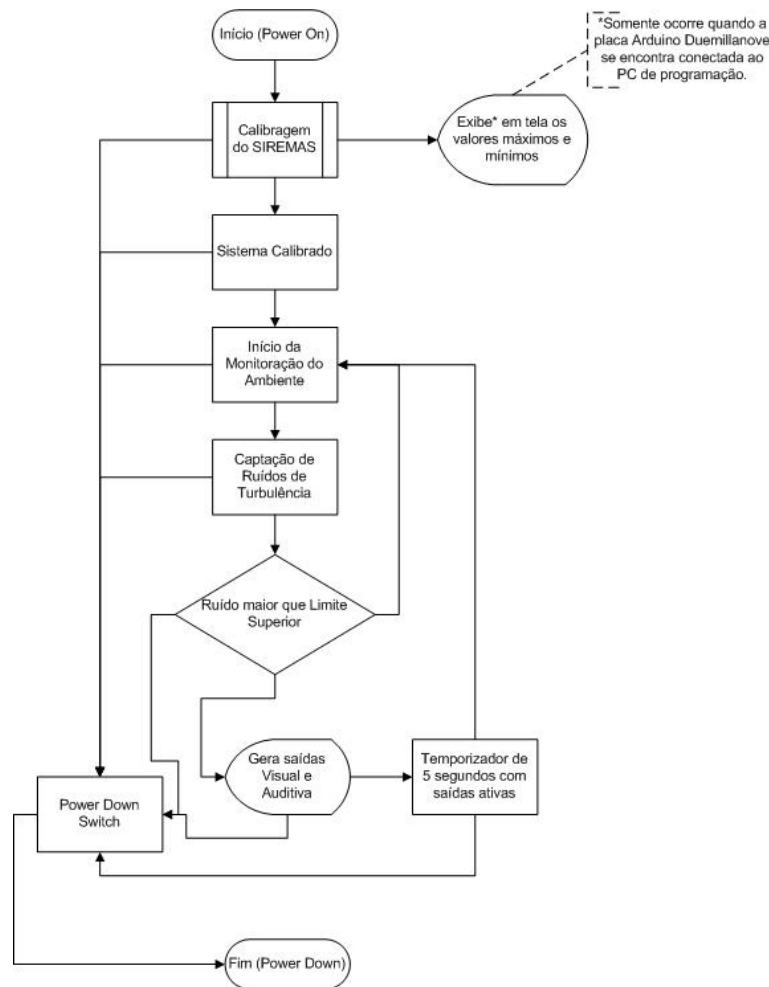


Figura 29 - Fluxograma de Funcionamento do SIREMAS.

Fonte: O Autor

Nesse instante, é disparado o gatilho lógico programado no microcontrolador, e então as saídas visuais e auditivas serão disparadas por um período de 3 segundos. Por haver um processamento auxiliar, o ATMEGA328P apenas irá disparar as saídas, e um CI de temporização irá garantir o estado ativo das saídas pelo intervalo de 3 segundos.

Findo esse tempo, as saídas retornam ao seu estado baixo, e não há armazenamento de dados durante o período no qual as saídas estiverem ativas, pois não há necessidade para tanto. Porém, se a leitura imediatamente posterior ao desligamento das saídas for de uma grandeza maior que o limite superior da calibração, as saídas serão acionadas novamente.

Todo esse processo pode ser encerrado a qualquer momento, com a liberação da entrada de força, seja por desligamento de botão ou pelo simples corte de alimentação.

3.17. Diagrama do Circuito Eletrônico

O diagrama do circuito se divide em dois blocos distintos, à esquerda e à direita do controlador, pois o segmento necessário à amplificação do sinal elétrico (esquerda) constitui apenas um segmento operacional do projeto. Considerando-se doravante o circuito de amplificação com Circuito I, têm-se o seguinte diagrama de circuito eletrônico, sendo considerado Circuito II, a rede dos componentes de saída:

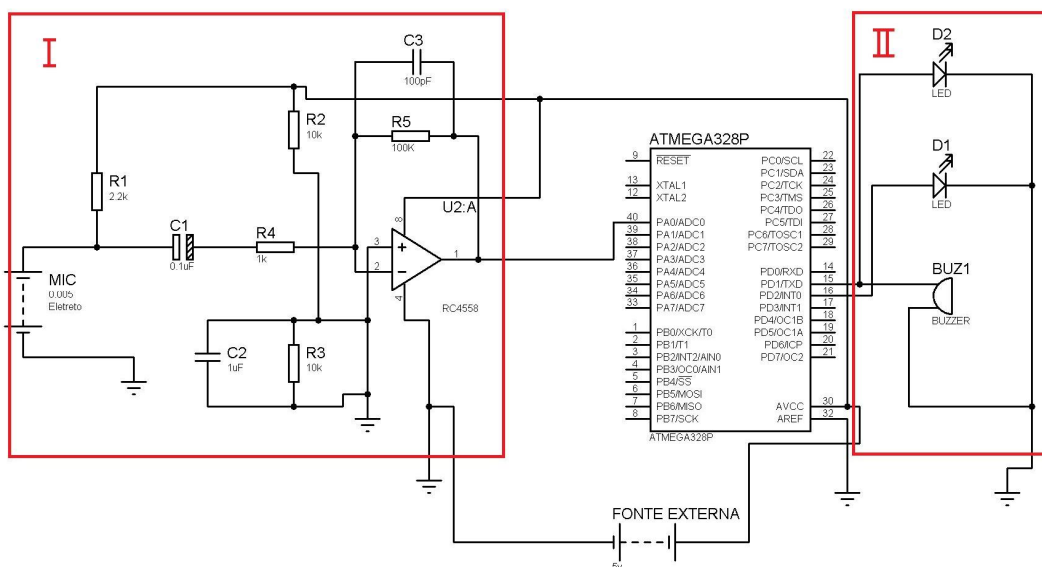


Figura 30 - Diagrama Eletrônico do SIREMAS.

Fonte: O Autor

Não foi criado um protótipo em placa de circuito impresso, e sim a demonstração na *protoboard*, e como não foi localizado na biblioteca do Proteus o diagrama para o ATMEGA328P, utilizou-se de forma ilustrativa o diagrama do ATMEGA32, que é similar.

4. Desenvolvimento Experimental do Protótipo

Para melhor entendimento e detalhamento da etapa de desenvolvimento, esse capítulo foi segmentado em duas seções principais, para que sejam descritas as seqüências históricas de desenvolvimento, os pontos de dificuldade na evolução do protótipo, as soluções apresentadas e a versão final do equipamento.

4.1.Histórico do Desenvolvimento

Partindo-se do pressuposto de que para atender à proposta de projeto haveria necessidade de utilização de um circuito micro controlado, optou-se pelo uso do micro controlador PIC16F877A. Esse controlador foi adotado devido aos estudos sobre programação de controladores dessa família na disciplina Micro controladores, e também por recomendação de colegas de classe.

Definido o controlador, e após aquisição de material de estudo para o mesmo, teve início a diagramação do circuito responsável pelo tratamento do sinal de entrada, vindo do Hidrofone, e uma vez definido o diagrama, foi iniciada a procura por um transdutor adequado. A figura 31 exibe o primeiro esboço do diagrama do circuito elétrico a ser montado.

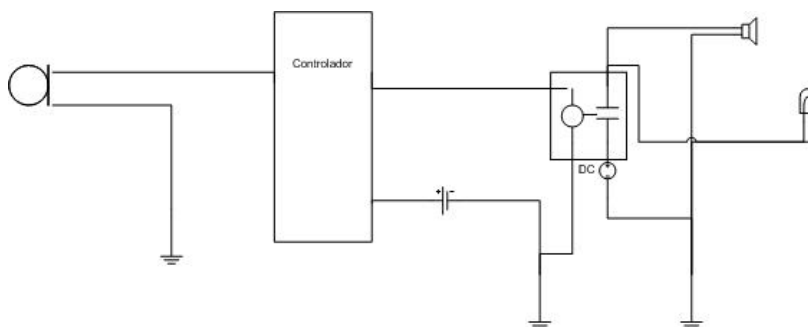


Figura 31 – Primeiro esboço de circuito elétrico.

Fonte: O Autor

Para a maioria dos componentes, não houve qualquer dificuldade para a compra, á exceção dos hidrofones. Não foram encontrados distribuidores na região do Distrito Federal ou Entorno, e os poucos localizados através da internet praticam preços considerados proibitivos para o desenvolvimento

desse projeto. Tendo em vista esse cenário, e sabendo-se das características necessárias à um Hidrofone, a solução encontrada foi confeccionar um de forma caseira, e para isso basta se impermeabilizar um microfone de eletreto, para que o contato com a água não cause mal funcionamento do mesmo ou até mesmo o danifique.

A solução foi envolve – lo em uma fina camada de silicone, ou até mesmo uma camada plástica. Não de deve utilizar proteções muito densas para não prejudicar sua sensibilidade, e como não se trata de uma análise direcional, apenas presencial, quaisquer alterações na velocidade da onda de som não irão ocasionar prejuízo ao que se deseja observar. A Figura 32 exibe a vedação necessária ao transdutor de eletreto.

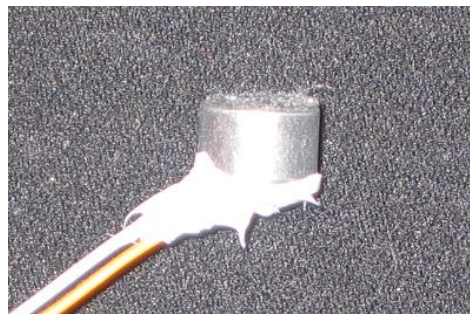


Figura 32 – Microfone de eletreto protegido por silicone.

Fonte: O Autor

Continuando os testes, outra alternativa utilizada foi o uso de um tubo plástico para realizar esse isolamento, que também demonstrou eficiência.



Figura 33 – Microfone de eletreto protegido por tubo de plástico.

Fonte: O Autor

Com essa vedação pronta, foi iniciado o teste de captação e amplificação do sinal, e posterior leitura do mesmo pelo controlador. Contudo, essa configuração não se mostrou muito eficiente, tanto pelas extensões dos cabos quanto pela capacidade de impermeabilização dos contatos, que se mostrou precária. A solução final se deu com o uso de epóxi (vide item 3.10), pois com essa substância, foi atingido um grau extremamente satisfatório de isolamento. A carcaça de plástico possui o objetivo de reter o fluido menos denso, permitindo a flutuação do Hidrofone. Como o aquário não possui uma profundidade em escala real, foram feitos testes sem esse fluido, e os resultados foram satisfatórios.

Até então, seria utilizado o PIC16F877A, porém durante os testes realizados na placa *MULTIPIC*, foi observada uma dificuldade em se realizar operações baseadas em tempo, fato este que posteriormente levou à uma troca do cristal da placa de testes. Embora tenha sido trocado o cristal, não foi resolvida a barreira de trabalho com período, e uma nova solução teve de ser elaborada.

À essa altura, o chassi estava pronto, com a placa *MULTIPIC* e o programador *MULTIPROG* anexado, a sirene, os conectores para hidrofones, a *proto board* e todo o circuito de amplificação. Somente faltava um controlador para tanto, pois apenas havia resposta às excitações causadas pelo eletreto, mas sem controle algum. Por restrições inerentes ao prazo a ser cumprido, optou-se pela troca do sistema de micro controle pela placa *Arduino Duemillanove*, cuja facilidade em se programar é superior quando se comparando à programação de circuitos integrados no geral.

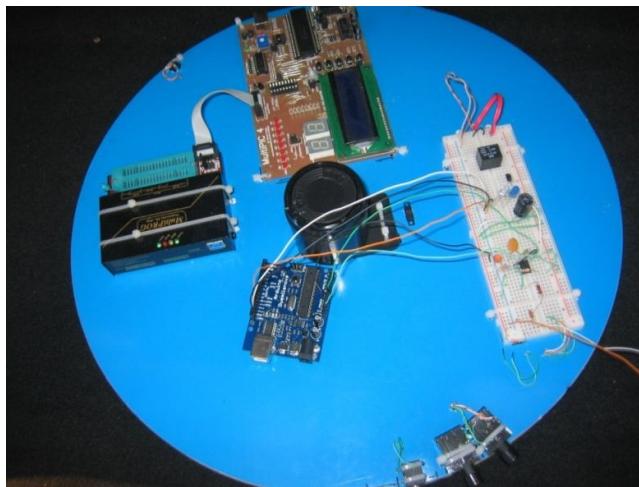


Figura 34 - Chassi SIREMAS com a Placa MultiPic e MultiProg.

Fonte: O Autor

Para que se pudesse realizar essa alteração, alguns parâmetros foram considerados, pois não poderia haver prejuízo ao sistema, sequer a necessidade de se alterar o circuito já montado. Em ambos os controladores, foram observadas características como a tensão de alimentação, tensão de trabalho, resolução do conversor analógico/digital, quantidade de entradas e saídas digitais e analógicas, recursos de programação. Como resultado dessa comparação, observou-se que não haveria necessidade de se realizar qualquer tipo de alteração no circuito, tornando a troca do controlador homogêneo ao circuito elétrico já desenvolvido.

Feita a alteração, teve início a fase de programação do protocolo de funcionamento do SIREMAS, e foi elaborado um código em Linguagem C com apoio de funções em *Wiring*, para a geração do código Hexadecimal, que posteriormente foi gravado no ATMEGA328P, para somente em seguida haver a conexão entre a placa *Arduino Duemillanove* e o circuito montado na *protoboard*.

Após a implementação do novo controlador, teve início a fase de testes, na qual os hidrofones de eletreto foram mergulhados e as leituras começaram a ser realizadas.

Muitas descobertas foram feitas nessa fase do desenvolvimento, e algumas levaram à alterações na configuração e na montagem do protótipo, a começar pelo chassi de montagem, que teve os componentes *MultiPic* e *MultiProg* retirados, por não se fazerem mais necessários ao funcionamento do SIREMAS. Também foi identificada a necessidade de um sensor de controle, um dispositivo de segurança para evitar acionamentos desnecessários motivados pela alta sensibilidade do Hidrofone de eletreto. Essas alterações estão descritas no item 4.3.2.

4.2. Interferências e Filtros

Durante as análises, foram observados alguns pontos de dificuldade, relativos ao domínio da frequência. O SIREMAS foi concebido para prover uma resposta à estímulos relativos ao domínio das amplitudes, pois parte-se do pressuposto de que a massa de fluido a ser monitorada (a piscina, por exemplo), se encontra em um ambiente acusticamente isolado, o mais próximo de um ambiente anecóico possível. Portanto, em um ambiente no qual existam mais de uma fonte sonora, interferências serão inevitáveis. Para se dirimir essa questão, filtros de frequência foram construídos, porém, em todos os casos uma mesma frequência pode ocorrer. Para essa análise, foi utilizada a FFT para levar as análises ao domínio da frequência, e posteriormente a introdução

de filtros de frequência, para tentar evitar essa situação de acionamento indevido.

4.2.1. Séries de Fourier

Para que essa análise fosse possível, foi feito uso do recurso matemático conhecido por “Transformada de Fourier”, em homenagem à seu criador, *Jean-Baptist Joseph Fourier*, e trata-se da representação de uma função periódica (muitas vezes, nos casos mais simples, tidas como tendo período 2π) como uma soma de funções periódicas da forma $x \mapsto e^{-inx}$, que são harmônicas de e^{ix} , e podem ser calculadas de duas formas:

Forma Complexa:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{\frac{i\pi n t}{L}} \quad (4.16)$$

onde:

$$c_n = \frac{1}{2L} \int_c^{c+2L} f(t) e^{-\frac{i\pi n t}{L}} dt \quad (4.17)$$

Forma Trigonométrica:

Sendo:

$$f(t + 2L) = f(t), \quad c \leq t \leq c + 2L \quad (4.18)$$

Então:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cdot \cos\left(\frac{n\pi t}{L}\right) + b_n \cdot \text{sen}\left(\frac{n\pi t}{L}\right) \right] \quad (4.19)$$

onde:

$$a_0 = \frac{1}{L} \int_c^{c+2L} f(t) dt$$

$$a_n = \frac{1}{L} \int_c^{c+2L} f(t) \cos\left(\frac{n\pi t}{L}\right) dt$$

$$b_n = \frac{1}{L} \int_c^{c+2L} f(t) \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi t}{L}\right) dt$$

Para funções ímpares $a_n = 0$ e $a_0 = 0$ e para funções pares $b_n = 0$.

No ambiente computacional, é utilizada uma variante da Transformada de Fourier, que funciona de uma maneira mais simples e rápida, por evitar cálculos desnecessários. Essa variante chama-se FFT (*Fast Fourier Transform*, ou Transformada Rápida de Fourier), e foi utilizado o software *MatLab7* para geração dessa transformada.

Uma vez concluídas as análises com base na FFT, transpondo as análises para o domínio da frequência, pode-se determinar qual filtro de frequência a ser utilizado. Isso é possível pois filtros são circuitos eletrônicos que atenuam algumas frequências, deixando outras passarem (JUNIOR, 2009).

4.2.2. Filtro Passa Baixa

Um filtro passa-baixas deixa passar apenas os sinais que possuem frequência abaixo de certo valor, denominado frequência central ou de corte do filtro, conforme mostra a Figura 35.

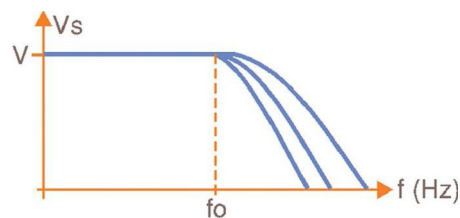


Figura 35 – Atenuação de Frequências Altas.

Fonte: http://www.sabereletronica.com.br/files/image/SE399-Filtros_Fig01.jpg

A partir dessa frequência (f_0) o ganho do circuito cai, permitindo assim uma atenuação mais ou menos acentuada do sinal. Na figura temos atenuações mais suaves (de 6 dB) e atenuações mais fortes, de 18 dB. O valor dessa atenuação vai depender da configuração ou ordem do filtro (JUNIOR, 2009).

A seguir, dá-se uma seleção de filtros desse tipo usando amplificadores operacionais. As características podem variar sensivelmente conforme o tipo

de amplificador utilizando. Com base nos valores de componentes mostrados, o leitor pode modificar o filtro para operar com outras frequências (JUNIOR, 2009).

O circuito ilustrado na Figura 36 é sugerido pela *National Semiconductor* e faz uso de um amplificador operacional que pode ser o LM102.

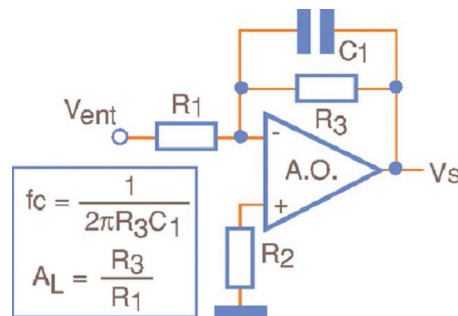


Figura 36 – Circuito do Filtro Passa Baixa.

Fonte: http://www.sabereletronica.com.br/files/image/SE399-Filtros_Fig02.jpg

4.2.3. Filtro Passa Alta

Os filtros passa altas são filtros que deixam passar sinais que estejam acima de determinada frequência para a qual eles sejam calculados (JUNIOR, 2009).

Conforme mostra a Figura 37, a ação do filtro não começa exatamente na frequência para o qual ele foi projetado, mas um pouco antes ele já deixa de atenuar totalmente o sinal.

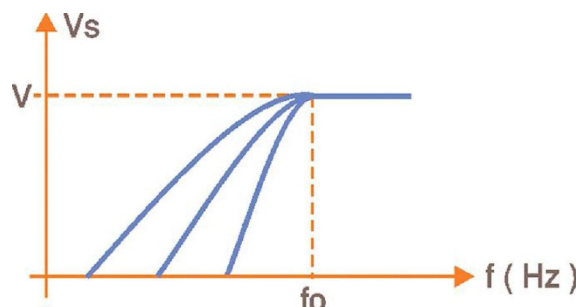


Figura 37 - Atenuação de Frequências Baixas.

Fonte: http://www.sabereletronica.com.br/files/image/Filtros_01_1_.jpg

Assim, conforme a configuração usada, os filtros podem ter uma ação mais suave (6 dB) ou mais abrupta (18 dB). Essa atenuação é dada pela ordem do filtro. Assim, um filtro de primeira ordem apresenta uma curva com uma

inclinação de 6 dB por oitava, enquanto que um filtro de quinta ordem apresenta uma curva com uma inclinação de 30 dB por oitava (JUNIOR, 2009).

A maneira mais simples de se construir um filtro passa altas ativo é com a utilização de amplificadores operacionais. Dessa maneira, os circuitos selecionados e que são dados a seguir, em sua maioria são sugeridos pelos fabricantes dos amplificadores operacionais como a *Texas Instruments*, *National Semiconductor* e outros. Evidentemente, na maioria dos casos, amplificadores equivalentes aos indicados podem ser usados e alterações nos componentes podem modificar a ação dos filtros conforme a aplicação.

O primeiro circuito, ilustrado na Figura 38, é sugerido pela *Texas Instruments*, fazendo uso de um amplificador operacional com transistores de efeito de campo na entrada.

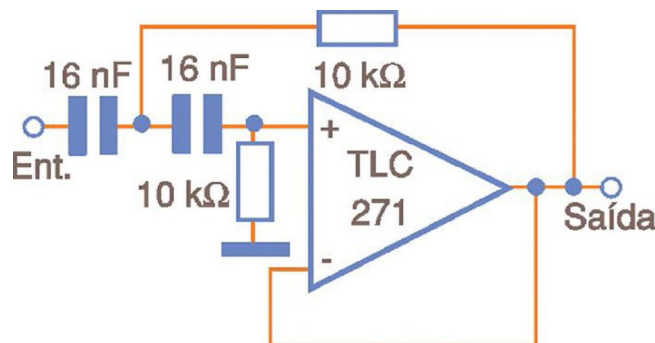


Figura 38 – Circuito do Filtro Passa Alta.

Fonte: http://www.sabereletronica.com.br/files/image/Filtros_02_1_.jpg

A frequência é determinada pelos capacitores, os quais podem ter seus valores alterados para que seja obtido outro corte. Como se trata de um filtro de primeira ordem, sua atenuação abaixo da frequência selecionada é de 6 dB por oitava (JUNIOR, 2009). A fonte de alimentação usada deve ser simétrica e circuitos integrados equivalentes podem ser empregados.

4.2.4. Filtro Passa Banda

Os filtros passa-faixa ou passa-banda, conforme mostra a figura 1, deixam passar os sinais que estão dentro de uma determinada faixa de frequências, rejeitando os demais (JUNIOR, 2009).

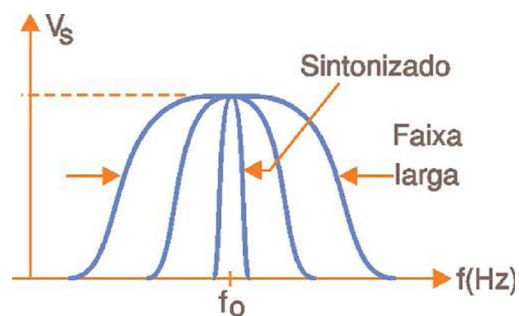


Figura 39 – Atenuação de Frequências Altas e Baixas.

Fonte: http://www.sabereletronica.com.br/files/image/Filtros_01.jpg

A principal qualidade de um filtro desse tipo é a sua seletividade, dada pelo fator de qualidade ou fator Q. Um fator Q elevado significa que o filtro é capaz de rejeitar sinais numa faixa bastante estreita (JUNIOR, 2009). Esses filtros, quando operam numa faixa muito estreita de frequências, também podem ser denominados filtros sintonizados.

As aplicações para tais filtros são as mais diversas, indo desde o reconhecimento de um sinal de uma única frequência em um sistema de controle remoto, até a seleção de uma faixa completa de sinais, por exemplo num sistema de telefonia ou de telecomunicações. Os filtros dados a seguir usam amplificadores operacionais comuns, podendo ser modificados à vontade conforme a aplicação.

O primeiro circuito que apresentamos, ilustrado na figura 2, utiliza um amplificador operacional básico e tem uma faixa passante de 1 000 Hz, com frequência centralizada em 1 kHz.

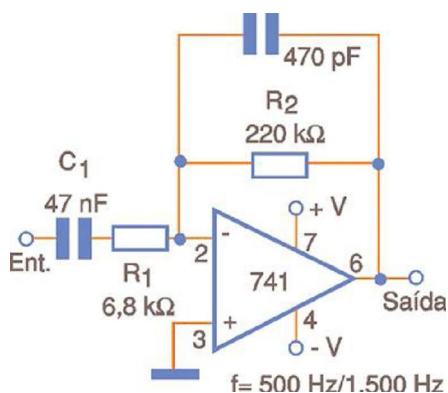


Figura 40 – Circuito do Filtro de Passa Banda.

Fonte: http://www.sabereletronica.com.br/files/image/Filtros_02.jpg

A frequência central é determinada pelos capacitores e pelos resistores R1/R2 que podem ser alterados, mantendo-se a proporção de valores para uma operação em outra faixa.

A fonte de alimentação deve ser simétrica e outros amplificadores operacionais podem ser usados em configuração semelhante.

É necessário lembrar apenas que esse tipo de circuito, quando usando amplificadores operacionais comuns, se destina a aplicações que envolvam sinais de baixas frequências, no máximo de algumas centenas de quilohertz.

Também é importante ressaltar que nas aplicações que tratem de sinais de áudio, o máximo cuidado deve ser tomado com blindagens nos cabos e entrada (alta impedância), para que não ocorra a captação de zumbidos. Na aplicações de altas frequências devem ser previstos capacitores de desacoplamento (normalmente cerâmicos de 100 nF) junto aos pinos de alimentação do circuito integrado.

4.2.5. Ensaios, Análises de Frequências e Amplitudes

Devido à ausência de uma câmara anecóica, as gravações do áudio no interior do aquário foram feitas em um cômodo residencial com o menor nível de ruído possível, sem geração de ruído por equipamentos eletrodomésticos e sem a presença de conversa entre pessoas, em um horário no qual não foram detectados sons externos com intensidade considerável a ponto de interferir nas leituras. Diversas configurações de transdutores a fim de se identificar quais seriam essas frequências e qual a melhor forma de tratar as mesmas, com o objetivo de se evitar alarmes falsos em um ambiente de vida prática.

A. Análise de Ruído Ambiente

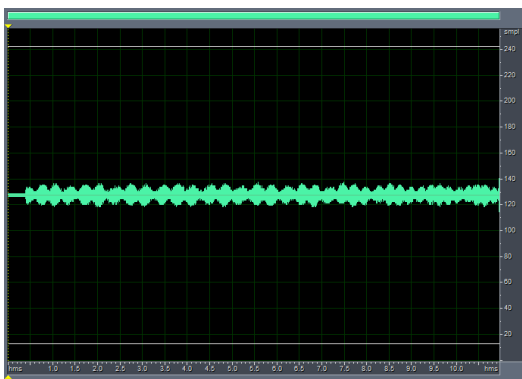


Figura 41 – Ruído Ambiente gerado: Amplitude (y) x Tempo(x).

Fonte: O Autor

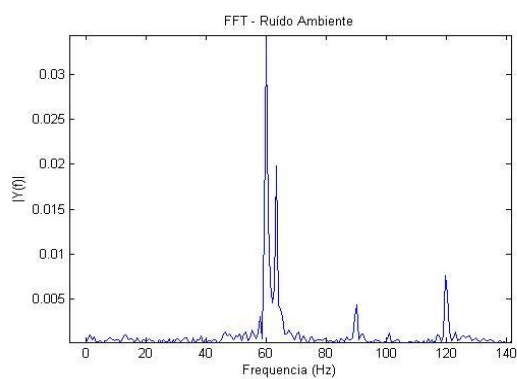


Figura 42– Ruído Ambiente gerado: Quantidade de Ocorrências (y) x Frequência (x).

Fonte: O Autor

B. Geração de Onda Sonora em Ambiente Externo

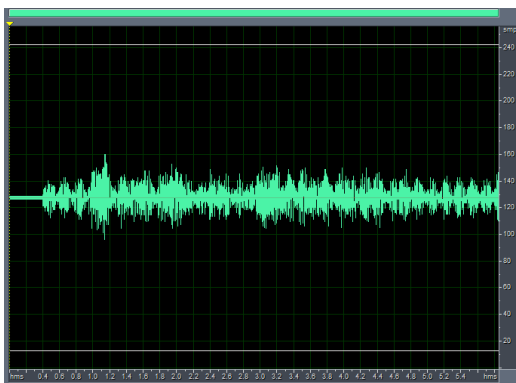


Figura 43 – Ruído Gerado Externamente: Amplitude (y) x Tempo(x)

.Fonte: O Autor

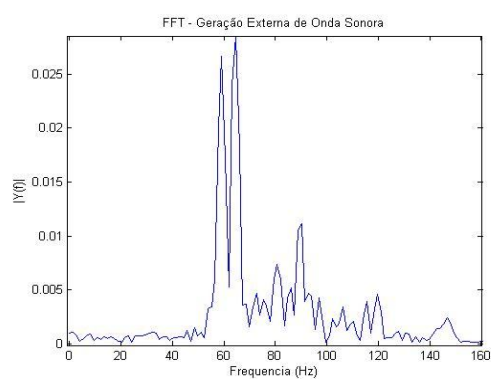


Figura 44 – Ruído Gerado Externamente: Quantidade De Ocorrências (y) x Frequência (x).

Fonte: O Autor

C. Queda de Objeto no Interior da Massa de Água

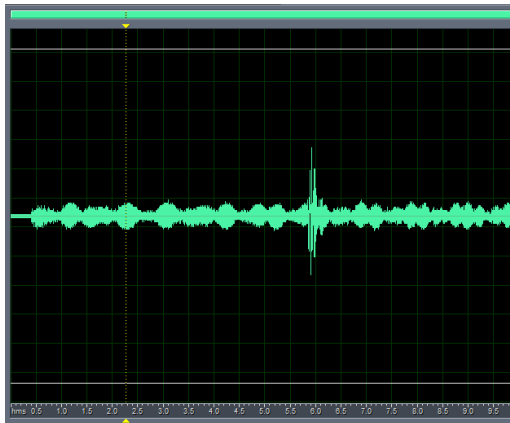


Figura 45 – Queda de Objeto: Amplitude (y) x Tempo(x).

Fonte: O Autor

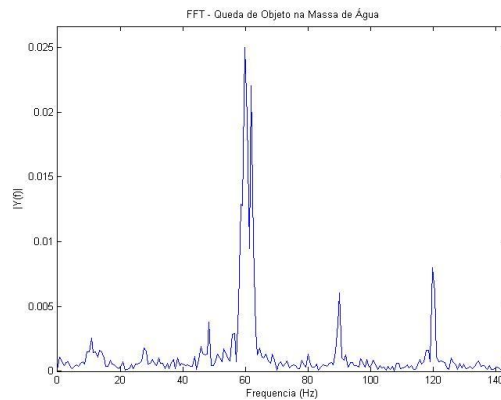


Figura 46 – Queda de Objeto: Quantidade De Ocorrências (y) x Tempo(x).

Fonte: O Autor

Com o término do estudo sobre as frequências, concluiu-se que a aplicação de qualquer dos filtros acima citados não irá atender na íntegra à necessidade em questão, pois a frequência predominante gerada quando ocorrer o contato de um corpo em queda com a água é similar à várias outras frequências geradas em um ambiente externo com diversas fontes sonoras.

A partir de então foi possível concluir que as frequências na faixa dos 40Hz a 80Hz não devem ser filtradas, pois essa faixa é característica à corpos em queda rompendo a barreira limítrofe entre a água e o ar. Para o atendimento à essa questão, faz-se necessária a análise do espectro das frequências, a fim de se identificar os diferentes timbres de fontes sonoras, realizar a filtragem, permitindo passar apenas o espectro correspondente ao timbre do som gerado quando uma massa cai na água. Uma solução para essa questão seria o uso de um Hidrofone não suscetível a essas faixas de frequência, trabalhando em ultra som, o que pode ser explorado em projetos futuros. Dessa forma, com a utilização de um sonar, será possível a detecção da presença na água de uma massa cuja densidade seja bem superior à massa líquida, sem haver dessa forma, interferências oriundas de outras vibrações residentes na faixa de som audível, a mesma faixa de operação do microfone de eletreto.

4.3. Versão Final do Protótipo

Já com o uso da placa *Arduino Duemillanove*, e detectadas as necessidades de alteração, foram estudadas outras formas de coleta de dados, como microfones de eletreto menores, microfones de cápsula, e revestimentos mais densos para os mesmos. Esses estudos e análises foram realizados com o objetivo pontual de evitar o acionamento errôneo, e para isso inserir mais parâmetros de controle para o acionamento das saídas visuais e auditivas, baseando-se em filtros de frequência e filtros de amplitude de sinal.

4.3.1. Configuração Final do Chassi de Montagem

Devido à escolha pela utilização do *Arduino Duemillanove*, optou-se por uma nova configuração da montagem do circuito, para haver um ambiente de maior portabilidade e menor peso. Portanto, a placa *MultiPic* e a placa de programação *MultiProg* foram retiradas, bem como a sirene de 12V, trocada pelo *Buzzer*. Abaixo, a Figura 35 exibe a configuração final do chassi.

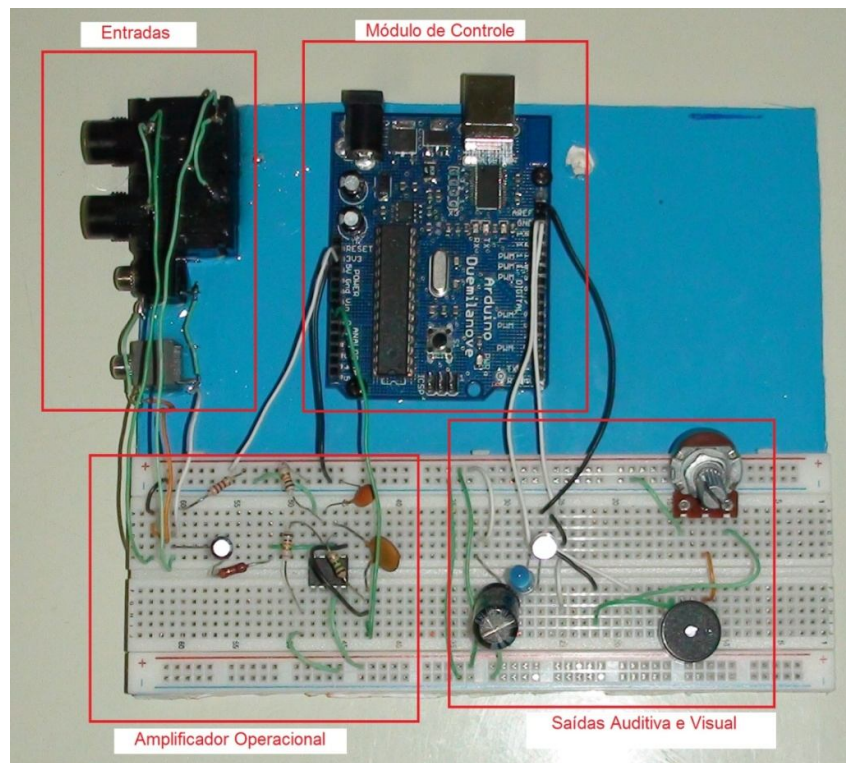


Figura 47 - Chassi final SIREMAS com Arduino Duemillanove.

Fonte: O Autor

Na Figura 47, é possível identificar as diferentes partes gerais do módulo de controle, onde observa-se:

I – Entradas dos Hidrofones (apenas um é utilizado).

II – Circuito do Pré Amplificador Operacional.

III – Saídas visual e auditiva.

IV – Placa Arduino Duemillanove.

Foi pensado, para o desenvolvimento dessa placa, em se utilizar um TRIMPOT ou potenciômetro para regulação do filtro de frequência ou do ganho do amplificador, porém não foi necessária a implementação, pois o filtro de frequência não poderia realizar a função desejada (filtrar ruídos desnecessários), tornando essa adição inócua. Também foi decidido não realizar a montagem do circuito em placa impressa, devido ao foco absolutamente acadêmico e demonstrativo do projeto.

Abaixo, um trecho de exemplo do código de programação, no qual é observado o limite superior de amplitude elétrica, coletado e armazenado durante a etapa de calibração:

```
//função principal do programa: realiza a chamada à todas as subrotinas.
void loop(){
    saida = analogRead(entradaMic);
    if(saida > limite)
    { digitalWrite(saidaVisual, HIGH);
      delay(3000);
      digitalWrite(saidaVisual, LOW);
      contador++;
      Serial.println(saida);
      Serial.print("iteração nro: ");
      Serial.println(contador); }
    else digitalWrite(saidaVisual, LOW);
    delay(1);
```

4.3.2. Configuração Final de Hidrofone

Essa etapa consumiu bastante tempo de desenvolvimento, pois houve bastante dificuldade em se acertar um conjunto de peças e formas de montagem que fosse sensível o suficiente para captar as vibrações sonoras, durável em relação à altíssima umidade, resistente à baixas pressões. Dentre as alternativas, foram tentados microfones de eletreto (componente adotado como central para essa referida construção) diretamente em contato com a água, apenas com os terminais isolados, cânulas de plástico preenchidas com

óleo vegetal (permite flutuação abaixo do nível da água) e cânula de plástico contendo apenas ar. Esse último caso foi o adotado, pois observou-se uma boa sensibilidade com baixo ruído, e maior durabilidade, por não haver contato direto com a água.



Figura 48 – Chassi final SIREMAS com Arduino Duemillanove.

Fonte: O Autor



Figura 49 – Chassi final SIREMAS com Arduino Duemillanove.

Fonte: O Autor

5. Resultados Obtidos e Análises dos Resultados

Para a fase de testes, a primeira constatação foi a de que o microfone de eletreto funciona bem em um ambiente de altíssima umidade. Ao ter seus contatos isolados e então ser mergulhado em água, não houve curto circuito e foram identificados movimentos vibratórios no interior do aquário. Com essa constatação, todo o desenvolvimento tornou-se possível, pois o foco deste trabalho é a análise acústica em um ambiente subaquático, não o transdutor em si, embora tenha sido gasto uma enorme quantidade horas no desenvolvimento e aperfeiçoamento do mesmo. Nos subitens 5.1, 5.2 e 5.3, os resultados obtidos durante os testes de funcionamento foram detalhados.

5.1. Alcance do Hidrofone de Eletreto

Após a montagem do aparato e impermeabilização do mesmo, identificou-se que à temperatura ambiente de aproximadamente 26°C, consegue-se uma captação à um raio de 1,5 metros do Hidrofone, quando está fora da água. Já quando submerso, somente foram feitos testes no interior do aquário de 45 cm x 21 cm x 28 cm, e obteve-se leitura em todos os pontos do aquário. Devido à captação e leitura baseada fortemente na amplitude do sinal, quanto maior for a força do impacto da queda, maior é a amplitude do sinal, o que indica maior potência, aumentando assim o raio de alcance para leitura. Para os testes, foram realizadas quedas de objetos esféricos a uma altura de 10 cm da superfície da água contida no aquário supracitado.

Embora este trabalho se baseie principalmente na intensidade sonora e suas frequências, não foram medidos níveis de decibéis da fonte sonora, nem atenuação da mesma com distâncias variáveis, pois a escala interna de conversão analógico - digital é montada com base em parâmetros coletados durante a etapa de calibração. O que é necessário para o funcionamento do SIREMAS é apenas um gradiente de diferença, não uma medida específica em decibéis.

5.2. Frequências de Onda das Análises

Uma vez diagnosticada a variação das amplitudes, foi iniciada a análise das frequências do sinal vibratório gerado. Como os limites de frequência de captação do microfone de eletreto residem na faixa do som audível (20Hz a

20KHz), todo o qualquer outro movimento vibratório dentro dessa faixa pode ser captado, levando assim à possibilidade de acionamento falso do SIREMAS.

Para dirimir tal fato, foram feitas análises de tempo x amplitude e frequência x número de ocorrências (identificação da faixa predominante de frequências), e dessa forma, foram identificadas as faixas de frequências características às quais pertencem: o movimento vibratório provocado pela queda de um objeto, por uma fonte externa de ruído e por uma onda mecânica. Essas leituras e análises coletadas com os ensaios são descritas com maior detalhamento no item 4.2.5 deste trabalho.

Uma vez identificadas as faixas de frequências, e tomando-se como base a faixa à qual pertence o movimento vibratório gerado pela queda do objeto (40Hz a 80Hz), um filtro passa faixa foi implementado, para se excluir frequências notoriamente não desejáveis, como frequências superiores à 1KHz. Dessa forma, foi possível a exclusão de sinais sonoros muito agudos, porém, não foi considerado o efeito Doppler nessa análise.

5.3.Desenvolvimento da Programação em Linguagem C

Com o uso da Linguagem C foi construído um protocolo de funcionamento para o controlador ATMEGA328P, e esse código, embora curto, permite que as informações sejam coletadas na entrada do sistema, tratadas dentro do controlador e posteriormente, que as saídas sejam acionadas.

Observou-se que, com o uso da plataforma *Arduino*, o tempo de desenvolvimento é menor, por se tratar de um ambiente de fácil compreensão, com uma grande variedade de funções específicas para o controlador em questão, que facilitam muito o trabalho de desenvolvimento e debug do código. Com o uso da saída em tela via porta USB, à uma taxa de comunicação de 9600 bits/s, foi possível observar as leituras realizadas na escala de referência, como também visualizar a ativação das saídas.

5.4.Limites de Tolerância

Uma das formas de realizar a validação do acionamento das saídas do SIREMAS é baseada na amplitude do sinal, ou seja, na variação da tensão elétrica gerada quando ocorre uma excitação do microfone de eletreto. Ao se iniciar a monitoração do ambiente subaquático, nota-se um ruído característico

inerente ao meio, e esse ruído deve ser considerado como o limite superior de acionamento, ou seja, a intensidade máxima a ser considerada como aceitável durante a monitoração, o parâmetro indicativo que, ao ser transposto, indica um movimento vibratório diferente do normal, diferente do esperado.

Uma vez que haja a detecção de ruídos provenientes da queda de um objeto, esse sinal é transformado em impulsos elétricos com um determinado período de repetição, e a amplitude

Há ruídos específicos ao ambiente fluido de análise, e esses limites devem ser desconsiderados para o acionamento das saídas visuais e auditivas do SIREMAS. Para tanto, considera-se um ambiente isolado acusticamente de ruídos externos para a validação da calibração do sistema. Nessa etapa, são excluídos ruídos que possam interferir na análise acústica da turbulência, reduzindo a ocorrência de falhas. Somente quando um valor de leitura se colocar na escala de diferenças a um percentual de 5% o valor do limite superior, serão disparadas as saídas do SIREMAS.

5.5.Tratamento de Falhas

Para evitar um acionamento indevido, é necessário o apoio de outros sensores, afim de que sejam especificadas ainda mais as características que cercam o momento e situação característicos do acionamento do gatilho. Uma das alternativas elaboradas, para a um pequeno volume de água, baseia-se em um sensor ultra sônico de distância, que fica localizado em um plano superior ao da superfície da água, de onde consegue medir uma distância h durante a etapa de calibração. Ao haver perturbação da água devido ao acréscimo de uma massa que desloque um determinado volume, o sensor detectará uma alteração no nível do fluido, permitindo o disparo do gatilho quando houver detecção de vibrações no interior da massa de água.

5.6.Modelo de Demonstração à Banca

A etapa final, de comprovação dos resultados obtidos, foi realizada em sala de aula, com a exibição de uma apresentação realizada em *MS Power Point*. Além disso, o protótipo desenvolvido foi demonstrado em sala, com o uso do aquário de testes preenchido a 90% de seu volume total, com água doce, à temperatura ambiente. Disposto sobre uma mesa, os hidrofones de eletreto serão mergulhados na massa de água, e o sistema foi calibrado. Nesse

instante, os valores lidos serão exibidos em tela na escala de intensidade (não foi utilizada a escala em decibéis).

Uma vez calibrado o sistema, e exibido em tela os valores lidos, e em seguida, terá início a monitoração do ambiente em questão. Serão utilizadas fontes geradoras de ruído mecânico e elétrico, e na tela do sistema serão observadas as diferentes leituras, desde um gradiente mais baixo - sem disparo de gatilho – até a superação do limite superior da escala, quando as saídas serão disparadas.

Por essência, o sistema continua a fazer as leituras assim que o disparo de 5 segundos das saídas é concluído, e nesse instante, tem-se início a fase de monitoração, gerando um ciclo até o desligamento do sistema. Não foram projetadas estruturas de retenção de informações (buffer), pois trata-se de um monitoramento em tempo real, não de estatísticas a longo prazo.

Essa demonstração foi feita após a apresentação do conteúdo gráfico em *MS PowerPoint*, e teve uma duração de 5 minutos apenas, período este no qual foram denotados todos os circuitos componentes do SIREMAS.

6. Considerações Finais

Nesta sessão são descritas as impressões do projeto a cerca de todo o processo evolutivo do desenvolvimento, bem como sobre os resultados finais obtidos com a conclusão do protótipo.

6.1. Conclusão

Após uma grande etapa de estudos, ficou claro que a solução acústica para sistemas de monitoramento é factível e viável, o foco de análise seja orientado aos transdutores de captação das vibrações e ao protocolo de gerenciamento de dados coletados. Por se tratarem de ondas tri dimensionais e que possuem grandes faixas de frequência, é extremamente necessário o tratamento por filtros de frequência, porém não apenas filtros passa-baixa, alta ou faixa, pois há que se identificar os diferentes timbres das fontes geradoras, através de um analisador de espectro de frequência, equipamento este não disponível nos laboratórios do Uniceub. As diversas tentativas de aprimoramento dos dispositivos de acionamento foram focadas na construção do Hidrofone, o que permitiu isolar grande parte dos ruídos externos à massa de água, porém

apenas por análise de amplitude de sinais e faixa de frequência, não por seu espectro.

Com isso têm-se um protótipo que atende em parte aos objetivos propostos, pois as perturbações geradas no interior da massa de água são identificadas por suas vibrações resultantes, contudo, abalos sísmicos ou ruídos de grande amplitude provenientes de fontes externas podem também gerar o acionamento do alarme, desde que sejam fortes o suficiente para penetrar a coluna de água sobre o Hidrofone.

O objetivo final de reduzir custos de monitoramento em instalações aquáticas foi atingido, quase que na totalidade, pois necessita de um ambiente acústica e mecanicamente isolado para garantir que não haja disparos errôneos. Por se tratar de um projeto complexo, que exige um enorme esforço e conhecimento na área de análise de frequências, a filtragem por espectro de frequências pode ser continuada em um próximo estudo para trabalho de conclusão de curso, possibilitando assim um controle absoluto sobre a situação exata que irá definir o acionamento das saídas visual e auditiva do SIREMAS.

6.2.Dificuldades Encontradas

Durante o desenvolvimento, diversas situações negativas tiveram de ser transpostas, tanto no que diz respeito ao conhecimento quanto à obtenção de materiais ou utensílios para confecção do modelo de protótipo.

As dificuldades relativas ao conhecimento foram facilmente sanadas com pesquisas à literatura existente (internet e livros). Houve uma maior necessidade de estudo sobre os fundamentos acústicos que tornam possível esse protótipo, seguido pelo conhecimento em programação para microcontroladores e montagem de circuito eletrônico. A falta de conhecimento eletrônico inicial levou à aquisição de mais aparelhos do que realmente era necessário, como por exemplo, a aquisição de uma placa laboratório para controladores PIC e uma placa de gravação. Após os estudos, foi percebido que não era necessário, e optou-se pela utilização da placa *Arduino Duemillanove*, que proveu uma solução muito mais simples de utilização, pois a própria placa laboratório possui módulo de gravação e a interface de programação é bastante mais simples comparando-se ao PIC.

Porém, a maior dificuldade foi em localizar um modelo de Hidrofone à um custo aceitável. Não foram localizados revendedores na região do Distrito Federal, apenas alguns revendedores pela internet, a maioria deles fora do país. Não obstante a dificuldade na localização, o preço tornou proibitiva a aquisição

desse tipo de transdutor, o que levou à confecção de um modelo baseado em microfone de eletreto, hermeticamente fechado por uma camada de silicone, para não haver curto circuito por contato com a água.

A questão do Hidrofone realmente foi uma dificuldade, por forçar ao desenvolvimento de uma estrutura nova e que não fazia parte do plano inicial, que era utilizar um dispositivo de terceiros. Além disso, a construção de um pré amplificador operacional se fez necessária, pois a saída do novo Hidrofone de eletreto é muito baixa, na casa dos micro volts, o que impossibilita a leitura direta da saída do sensor.

6.3.Sugestões para Projetos Futuros

Embora o SIREMAS possua um grau de eficiência extremamente satisfatório, há outras formas de se promover melhorias ao seu funcionamento, tanto em sua forma de captação como em seu tempo de reação em relação aos acontecimentos de gatilho.

Uma primeira sugestão se baseia na troca do transdutor acústico para um transdutor ultra – sônico, que ao invés de procurar alterações na intensidade sonora do ambiente monitorado, pode-se valer das características do efeito Doppler para identificar um corpo estranho ao ambiente, mesmo que este não produza vibrações sonoras. O SIREMAS, em sua primeira versão, necessita de que haja uma perturbação vibratória na frequência audível do som para que o circuito de alarme seja disparado.

Outra sugestão é tornar o SIREMAS proativo, ao invés de sua característica reativa atual. As saídas de alarme somente são acionadas quando existe turbulência no interior do tanque ou piscina monitorado. Sendo feita a captura por intensidade sonora ou por tempo de resposta (efeito Doppler), em ambos os cenários, haverá apenas reação. O que se sugere é o uso de um conjunto de sensores de presença por infravermelho ou sensores compostos por feixes de laser, para que seja percebida a presença de indivíduos anteriores à submersão no ambiente monitorado.

Em ambos os casos, aproximadamente 60% do que já foi produzido poderá ser reaproveitado, pois farão parte do circuito de monitoração, decisão ou saída.

7. Referência Bibliográfica

NEPOMUCENO, Lauro Xavier **Acústica Técnica**. 1ª Edição: ETEGIL; 1968

SOUZA, D. J. **Conectando o PIC – Recursos Avançados para PIC 16F877A**. 4ª ed. Editora Érica, São Paulo, 2005.

SILVA, Renato A. **Programando Microcontroladores PIC**. 1ª Edição: Ensino Profissional Editora, São Paulo, 2007

JUNIOR, Almir W. L. **Eletricidade & Eletrônica Básica**. 3ª Edição: Alta Books Editora, Rio de Janeiro, 2009

Datasheet – “**PIC16F87XA**”. Disponível em:
<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010242>
Acesso em: 30.ago.2009

About Octave. Disponível em:
<http://www.gnu.org/software/octave/about.html>
Acesso em: 07.set.2009

O Efeito Doppler. Disponível em:
<http://www.brasilecola.com/fisica/o-efeito-doppler.htm>
Acesso em: 07.set.2009

Efeito Doppler Acústico. Disponível em:
<http://www.fisica.ufs.br/CorpoDocente/egsantana/ondas/doppler/doppler.html>
Acesso em: 07.set.2009

Units: CGS and MKS. Disponível em:
<http://www.unc.edu/~rowlett/units/cgsmks.html>
Acesso em: 11.set.2009

How Stuff Works – O quê é um decibel?. Disponível em:
<http://ciencia.hsw.uol.com.br/questao124.htm>
Acesso em: 12.set.2009

Decibel. Disponível em:
<http://www.mat.ufrgs.br/~portosil/passa1e.html>
Acesso em: 12.set.2009

Isaacsantos – apostila – Octave.pdf. Disponível em:
<http://www.ceunes.ufes.br/downloads/2/isaacsantos-apostila-Octave.pdf>
Acesso em: 12.set.2009

Mecatrônica Atual, Transdutores Piezoelétricos. Disponível em:
<http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/216>
Acesso em: 13.set.2009

Tutorial: Underwater Acoustics. Disponível em:
<http://www.pmel.noaa.gov/vents/acoustics/tutorial/tutorial.html>
Acesso em 13.set.2009

Programas Exemplos. Disponível em:
<http://www.mecatronica.org.br/disciplinas/cuscopic/prog/modelos/exemplos.htm>
Acesso em: 15.set.2009

Viaseg – O quê é Ruído? Disponível em:
http://www.viaseg.com.br/noticia/1039-o_que_e_ruido.html
Acesso em: 16.set.2009

O quê é Ruído? Disponível em:
<http://www.univ-ab.pt/formacao/sehit/curso/ruido/uni1/ruido.html>
Acesso em: 16.set.2009

Sons –timbr. Disponível em:
<http://www2.ee.ufpe.br/codec/sons-timbr.pdf>
Acesso em: 16.set.2009

Untitled (Timbre). Disponível em:
<http://www.sescsp.org.br/sesc/hotsites/musicaeletronica/zootek/oficina1.htm>
Acesso em: 16.set.2009

Projeto Física e Cidadania. Disponível em:
<http://www.fisicaecidadania.ufjf.br/conteudos/acustica/osom/osom3.html>
Acesso em: 16.set.2009

Reflexão e Refração do Som, Brasil Escola. Disponível em:
<http://www.brasilecola.com/fisica/reflexao-refracao-som.htm>
Acesso em: 17.set.2009

E_on06mic.pdf. Disponível em:
http://www.hosiden.co.jp/web/english/web/products/pdf/e_on06_mic.pdf
Acesso em: 17.set.2009

Filtros Passa Baixa. Disponível em:
<http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/992>
Acesso em: 20.nov.2009

8. Apêndice A – Códigos de Programas Utilizados

1 - Código da Central de Controle

```
//* *****
//*
//*                               */
//*      Projeto Final - Eng Computação - UniCEUB      *
//*                               *
//*                               *
//*      HENRIQUE GOMES DA SILVA      *
//*                               *
//*      RA: 996598/5      *
//*                               *
//* *****
//*  VERSÃO : 1.5      *
//*  DATA : 7/11/2009      *
//* *****
//* *****
//*  Aspectos Gerais:
//*  O objetivo desta aplicação é monitorar o interior de uma reservatório de fluido aquoso, como pisci-
//*nas ou tanques, e com base na captação de vibrações sonoras, disparar um alarme em dois
//*agentes, visual *
//*e auditivo, possibilitando assim aos gestores de uma instalação que possua um parque aquático a
//*monitorar*
//*remotamente seus ambientes, à um custo menor com recursos humanos.      *
//* *****

//* *****
//*      Definição de Constantes e Variáveis      *
//* *****
```

```
//constantes do programa: são definições globais e imutáveis em todos os trechos do programa

const int entradaMic = 0; //especifica o uso do pino analógico 0, na constante sensorPIN

const int saidaVisual = 13; //especifica o uso do pino digital 13 para saída visual do alarme

const int saidaCalibra = 12; //especifica o uso do pino digital 12 para saída visual de calibração
```

```
//variáveis globais: definições existentes para todo o programa, que sofrer atualizações em seus conteúdos
```

```
int saida = 0, contador=0, limite=0;

int ledST = LOW;

int sensorMin = 1023; // minimum sensor value

int sensorMax = 0; // maximum sensor value

int sensorVal = 0;
```

```
//* *****

//*                Definição de Funções Estruturais                *

//* *****
```

```
//função de inicialização: essa função é obrigatória em todos os programas para Arduino, instancia os vetores de entrada e saída dos pinos e a taxa de comunicação serial
```

```
void setup(){

    Serial.begin(9600);

    pinMode(saidaVisual, OUTPUT);

    pinMode(saidaCalibra, OUTPUT);

    pinMode(entradaMic, INPUT);

    digitalWrite(saidaVisual, LOW);

    calibraLimite();

}
```



```

/* *****
/*
    Definição de Funções Operacionais
/* *****

//função que regula o acendimento temporário do Led no pino 13, que trata-se do agente visual de
saída quando disparado o gatilho do protocolo.

void acendeLed(int input1)
{
    if(!input1) input1=10000;

    digitalWrite(saidaVisual, HIGH);

    delay(input1);
}

//função de calibração: executada sempre que há uma reinicialização das memórias e busca os
maiores limites de pressão sonora para estabelecer um pico e um vale como limites superior e inferior.

void calibraLimite()
{
    int segundosCalibrando = 5;

    digitalWrite(saidaCalibra, HIGH);

    Serial.println("Calibrando o Sistema.");

    while(millis() <= 5000)
    {

        segundosCalibrando = 5001 - millis();
    }
}

```

```

switch(segundosCalibrando)
{
    case 5000: Serial.println(5); break;
    case 4000: Serial.println(4); break;
    case 3000: Serial.println(3); break;
    case 2000: Serial.println(2); break;
    case 1000: Serial.println(1); break;
}

sensorVal = analogRead(entradaMic);

if(sensorVal > sensorMax)
{
    sensorMax = sensorVal;
}

if(sensorVal <= sensorMin)
{
    sensorMin = sensorVal;
}
}

limite = sensorMax;

digitalWrite(saidaCalibra, LOW);

Serial.println("Sistema Calibrado.");
Serial.print(" sensorMax : "); Serial.println(sensorMax);
Serial.print(" sensorMin : "); Serial.println(sensorMin);
Serial.print("limite   : "); Serial.println(limite);
}

//função principal do programa: realiza a chamada à todas as subrotinas.

```

```

void loop(){

    saida = analogRead(entradaMic);

    if(saida > limite)
    {
        digitalWrite(saidaVisual, HIGH);

        delay(3000);

        digitalWrite(saidaVisual, LOW);

        contador++;

        Serial.println(saida);

        Serial.print("iteração nro: ");

        Serial.println(contador);

    }

    else digitalWrite(saidaVisual, LOW);

    delay(1);

}

```

2 - Código MatLab FTT – Ruído Ambiente

```

[y, Fs, nbits] = wavread('C:\Users\Henrique\Desktop\PROJETO FINAL 2009\6. Outros Arquivos\6.2 Arquivos de
Audio\Hidrofone de Cânula de Filme Fotográfico com Ar - Ruído Ambiente 01.wav');
NFFT = 2^nextpow2(10959);
Y=fft(y,NFFT)/10959;
f=Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
plot(f,2*abs(Y(1:NFFT/2+1)));
title('FFT - Ruído Ambiente');
xlabel('Frequencia (Hz)');
ylabel('|Y(f)|');

```

3 - Código MatLab FTT – Ruído Externo

```

[y, Fs, nbits] = wavread('C:\Users\Henrique\Desktop\PROJETO FINAL 2009\6. Outros Arquivos\6.2 Arquivos de
Audio\Hidrofone de Cânula de Filme Fotográfico com Ar - Geração Externa 02.wav');
NFFT = 2^nextpow2(5851);
Y=fft(y,NFFT)/5851;
f=Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
plot(f,2*abs(Y(1:NFFT/2+1)));
title('FFT - Geração Externa de Onda Sonora');
xlabel('Frequencia (Hz)');
ylabel('|Y(f)|');

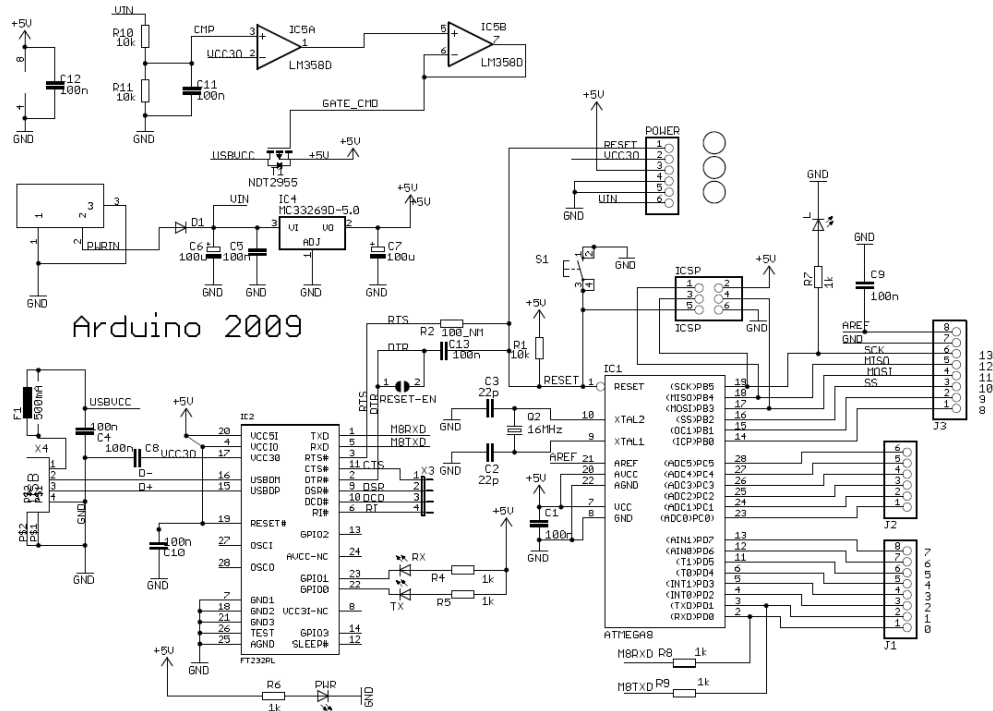
```

4 - Código MatLab FTT – Queda de Objeto

```
[y, Fs, nbits] = wavread('C:\Users\Henrique\Desktop\PROJETO FINAL 2009\6. Outros Arquivos\6.2 Arquivos de
Áudio\Hidrofone de Cândia de Filme Fotográfico com Ar - Queda de Objeto 01.wav');
NFFT = 2^nextpow2(10402);
Y=fft(y,NFFT)/10402;
f=Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
plot(f,2*abs(Y(1:NFFT/2+1)));
title('FFT - Queda de Objeto na Massa de Água');
xlabel('Frequencia (Hz)');
ylabel('|Y(f)|');
```

9. Apêndice B – Anexos

Anexo A - Diagrama da Placa Arduino Duemillanove



<http://arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-duemilanove-schematic.pdf>

Anexo B - Data Sheet do Amplificador Operacional MC4558



www.fairchildsemi.com

MC4558

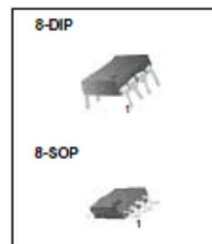
Dual Operational Amplifier

Features

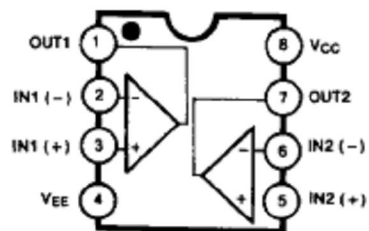
- No frequency compensation required.
- No latch up.
- Large common mode and differential voltage range.
- Parameter tracking over temperature range.
- Gain and phase match between amplifiers.
- Internally frequency compensated.
- Low noise input transistors.

Descriptions

The MC4558 series is a monolithic integrated circuit designed for dual operational amplifier.



Internal Block Diagram

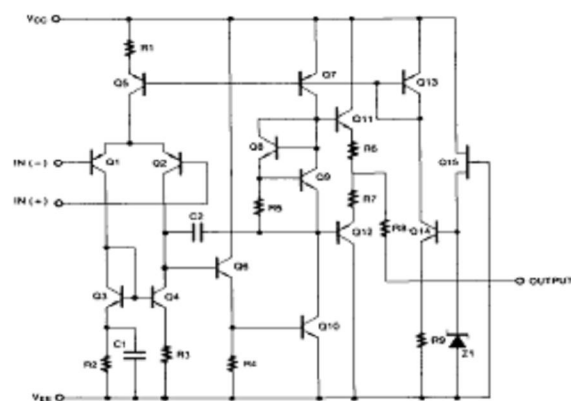


Rev. 1.0.1

©2001 Fairchild Semiconductor Corporation

Schematic Diagram

(One Section Only)



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	±22	V
Differential Input Voltage	VI(DIFF)	30	V
Input Voltage	VI	±15	V
Power Dissipation	PD	400	mW
Operating Temperature Range	TOPR	0 ~ 70	°C
MC4558C		-40 ~ 85	°C
MC4558V			
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ 150	°C

Electrical Characteristics

(V_{CC} = 15V, V_{EE} = -15V, T_A = 25 °C unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC4558C/MC4558V			Unit
			Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	V _{IO}	R _S ≤ 10KΩ	-	2	6	mV
		Note 1	-	-	7.5	
Input Offset Current	I _{IO}		-	5	200	nA
		T _A = T _A (MAX)	-	-	300	
		T _A = T _A (MIN)	-	-	300	
Input Bias Current	I _{BIAS}		-	30	500	nA
		T _A = T _A (MAX)	-	-	800	
		T _A = T _A (MIN)	-	-	800	
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _O (P-P) = ±10V, R _L ≤ 2KΩ	20	200	-	V/mV
		Note 1	-	-	-	
Common Mode Input Voltage Range	V _I (R)		±12	±13	-	V
		Note 1	-	-	-	
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	R _S ≤ 10KΩ	70	90	-	dB
		Note 1	-	-	-	
Supply Voltage Rejection Ratio	PSRR	R _S ≤ 10KΩ	76	90	-	dB
		Note 1	76	90	-	
Output Voltage Swing	V _O (P-P)	R _L ≥ 10KΩ	±12	±14	-	V
		R _L ≥ 2KΩ	±10	±13	-	
Supply Current (Both Amplifiers)	I _{CC}		-	3.5	5.8	mA
		T _A = T _A (MAX)	-	-	5.0	
		T _A = T _A (MIN)	-	-	6.7	
Power Consumption (Both Amplifiers)	P _C		-	70	170	mW
		T _A = T _A (MAX)	-	-	150	
		T _A = T _A (MIN)	-	-	200	
Slew Rate (Note2)	SR	V _I = 10V, R _L ≥ 2KΩ C _I ≤ 100pF	1.2	-	-	V/μs
Rise Time (Note2)	T _R	V _I = 20mV, R _L ≥ 2KΩ C _I ≤ 100pF	-	0.3	-	μs
Overshoot (Note2)	OS	V _I = 20mV, R _L ≥ 2KΩ C _I ≤ 100pF	-	15	-	%

Note :

- MC4558C : T_A(MIN) ≤ T_A ≤ T_A(MAX) = 0 ≤ T_A ≤ 70 °C , MC4558V : T_A(MIN) ≤ T_A ≤ T_A(MAX) = -40 ≤ T_A ≤ +85 °C
- Guaranteed by design.

Typical Performance Characteristics

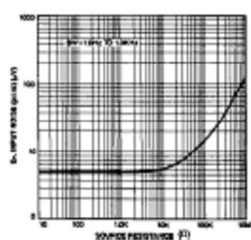


Figure 1. Burst Noise vs Source Resistance

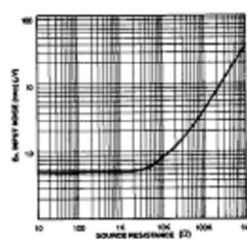


Figure 2. RMS Noise vs Source Resistance

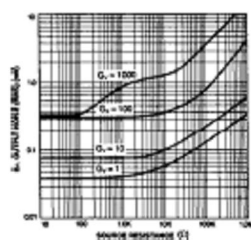


Figure 3. Output Noise vs Source Resistance

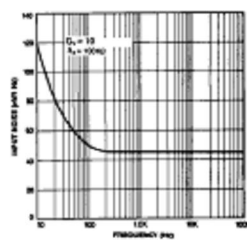


Figure 4. Spectral Noise Density

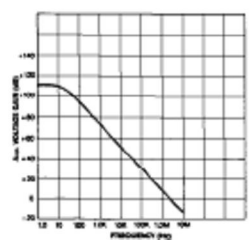


Figure 5. Open Loop Frequency Response

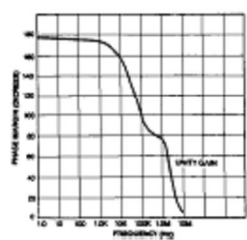


Figure 6. Phase Margin vs Frequency

Typical Performance Characteristics (continued)

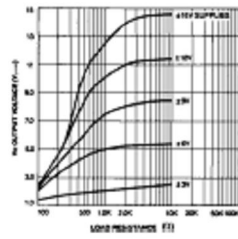


Figure 7. Positive Output Voltage Swing vs Load Resistance

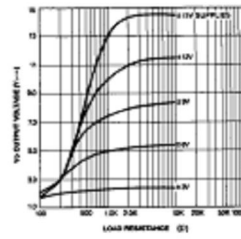
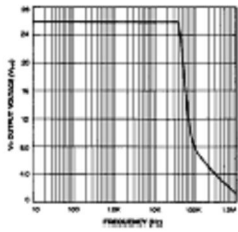


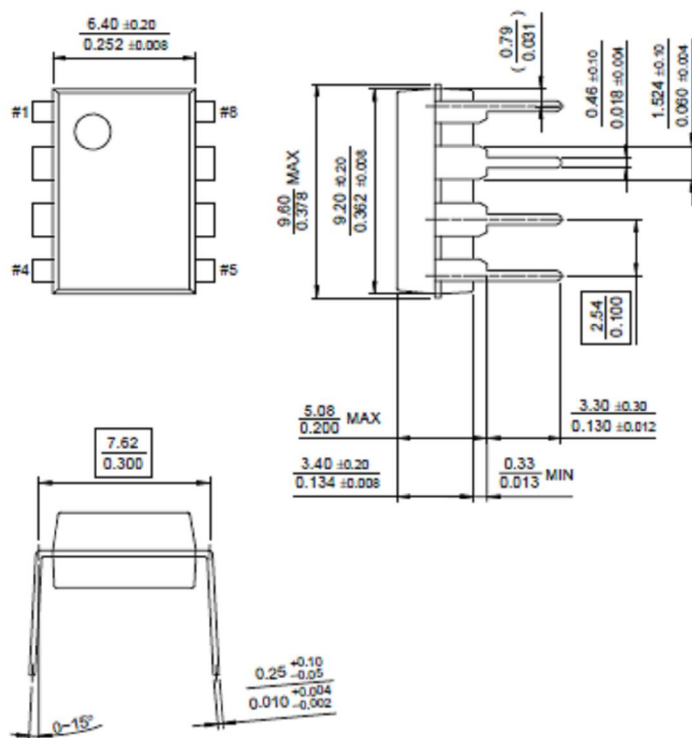
Figure 8. Negative Output Voltage Swing vs Load Resistance

Figure 9. Power Bandwidth
(Large Signal Output Swing vs Frequency)

Mechanical Dimensions

Package

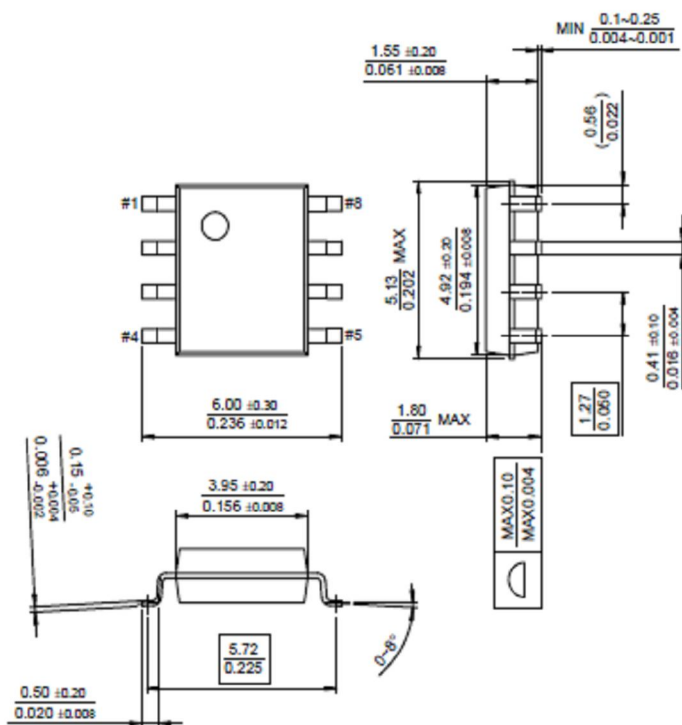
8-DIP



Mechanical Dimensions (Continued)

Package

8-SOP



Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
MC4558CP	8-DIP	0 ~ +70°C
MC4558CD	8-SOP	
MC4558VP	8-DIP	-40 ~ +85°C
MC4558VD	8-SOP	

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

www.fairchildsemi.com

6/1/01 0.0m 001
Stock#MC45688888
© 2001 Fairchild Semiconductor Corporation

Anexo C - Data Sheet do ATmega328_

Features

- High Performance, Low Power AVR[®] 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
 - 1.8 - 5.5V for ATmega48PA/88PA/168PA/328P
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
 - 0 - 20 MHz @ 1.8 - 5.5V
- Low Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C for ATmega48PA/88PA/168PA/328P:
 - Active Mode: 0.2 mA
 - Power-down Mode: 0.1 µA
 - Power-save Mode: 0.75 µA (Including 32 kHz RTC)



8-bit **AVR[®]**
Microcontroller
with 4/8/16/32K
Bytes In-System
Programmable
Flash

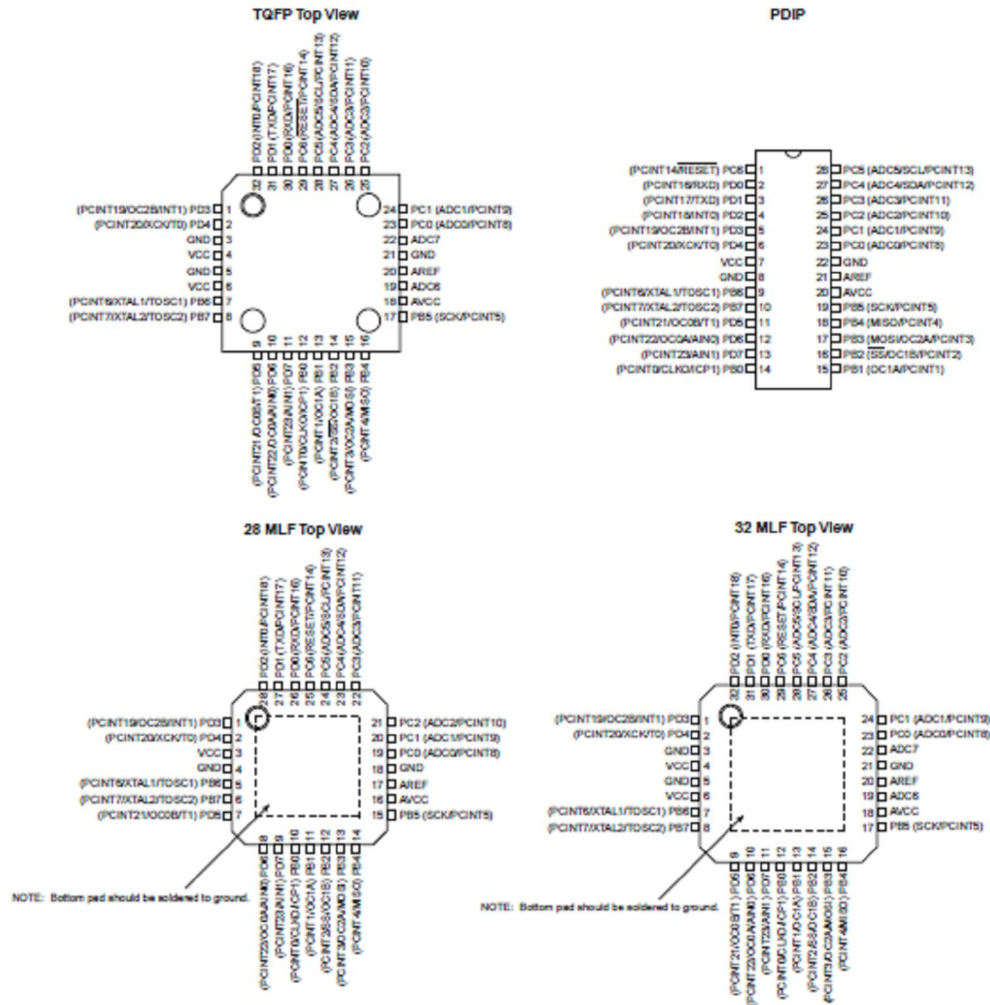
ATmega48PA
ATmega88PA
ATmega168PA
ATmega328P

Rev. 8161D-AVR-10/09



1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48PA/88PA/168PA/328P



1.1 Pin Descriptions

1.1.1 VCC

Digital supply voltage.

1.1.2 GND

Ground.

1.1.3 Port B (PB7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Depending on the clock selection fuse settings, PB6 can be used as input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

Depending on the clock selection fuse settings, PB7 can be used as output from the inverting Oscillator amplifier.

If the Internal Calibrated RC Oscillator is used as chip clock source, PB7..6 is used as TOSC2..1 input for the Asynchronous Timer/Counter2 if the AS2 bit in ASSR is set.

The various special features of Port B are elaborated in "Alternate Functions of Port B" on page 82 and "System Clock and Clock Options" on page 26.

1.1.4 Port C (PC5:0)

Port C is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The PC5..0 output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

1.1.5 PC6/RESET

If the RSTDISBL Fuse is programmed, PC6 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PC6 differ from those of the other pins of Port C.

If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PC6 is used as a Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a Reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 28-3 on page 318. Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.

The various special features of Port C are elaborated in "Alternate Functions of Port C" on page 85.

1.1.6 Port D (PD7:0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

The various special features of Port D are elaborated in ["Alternate Functions of Port D" on page 88](#).

1.1.7 AV_{CC}

AV_{CC} is the supply voltage pin for the A/D Converter, PC3:0, and ADC7:6. It should be externally connected to V_{CC} , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter. Note that PC6..4 use digital supply voltage, V_{CC} .

1.1.8 AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

1.1.9 ADC7:6 (TQFP and QFN/MLF Package Only)

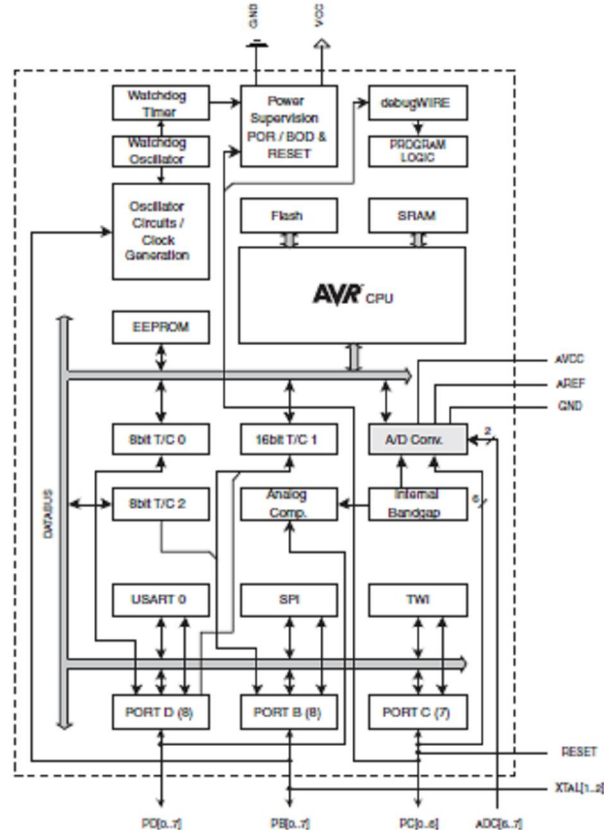
In the TQFP and QFN/MLF package, ADC7:6 serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

2. Overview

The ATmega48PA/88PA/168PA/328P is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega48PA/88PA/168PA/328P achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

2.1 Block Diagram

Figure 2-1. Block Diagram



The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting

architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega48PA/88PA/168PA/328P provides the following features: 4K/8K bytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 256/512/512/1K bytes EEPROM, 512/1K/1K/2K bytes SRAM, 23 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, three flexible Timer/Counters with compare modes, internal and external interrupts, a serial programmable USART, a byte-oriented 2-wire Serial Interface, an SPI serial port, a 6-channel 10-bit ADC (8 channels in TQFP and QFN/MLF packages), a programmable Watchdog Timer with internal Oscillator, and five software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, USART, 2-wire Serial Interface, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset. In Power-save mode, the asynchronous timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except asynchronous timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low power consumption.

The device is manufactured using Atmel's high density non-volatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed In-System through an SPI serial interface, by a conventional non-volatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The Boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega48PA/88PA/168PA/328P is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATmega48PA/88PA/168PA/328P AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C Compilers, Macro Assemblers, Program Debugger/Simulators, In-Circuit Emulators, and Evaluation kits.

2.2 Comparison Between ATmega48PA, ATmega88PA, ATmega168PA and ATmega328P

The ATmega48PA, ATmega88PA, ATmega168PA and ATmega328P differ only in memory sizes, boot loader support, and interrupt vector sizes. Table 2-1 summarizes the different memory and interrupt vector sizes for the three devices.

Table 2-1. Memory Size Summary

Device	Flash	EEPROM	RAM	Interrupt Vector Size
ATmega48PA	4K Bytes	256 Bytes	512 Bytes	1 instruction word/vector
ATmega88PA	8K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	1 instruction word/vector
ATmega168PA	16K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	2 instruction words/vector
ATmega328P	32K Bytes	1K Bytes	2K Bytes	2 instruction words/vector

ATmega88PA, ATmega168PA and ATmega328P support a real Read-While-Write Self-Programming mechanism. There is a separate Boot Loader Section, and the SPM instruction can only execute from there. In ATmega48PA, there is no Read-While-Write support and no separate Boot Loader Section. The SPM instruction can execute from the entire Flash.

3. Resources

A comprehensive set of development tools, application notes and datasheets are available for download on <http://www.atmel.com/avr>.

4. Data Retention

Reliability Qualification results show that the projected data retention failure rate is much less than 1 PPM over 20 years at 85°C or 100 years at 25°C.

5. About Code Examples

This documentation contains simple code examples that briefly show how to use various parts of the device. These code examples assume that the part specific header file is included before compilation. Be aware that not all C compiler vendors include bit definitions in the header files and interrupt handling in C is compiler dependent. Please confirm with the C compiler documentation for more details.

For I/O Registers located in extended I/O map, "IN", "OUT", "SBIS", "SBIC", "CBI", and "SBI" instructions must be replaced with instructions that allow access to extended I/O. Typically "LDS" and "STS" combined with "SBR", "SBRC", "SBR", and "CBR".

Anexo D - Data Sheet Microfone de Eletreto



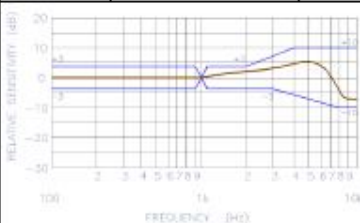
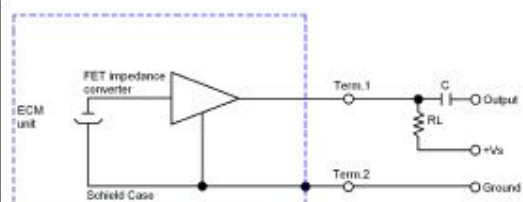
PRODUCT SPECIFICATION

Doc: MD9745APZ-F

This specification applies to the electret condenser microphone outlined within this document.

Model Number: MD9745APZ-F

I. Electrical Characteristics Test Condition ($V_s = 2.0 \text{ V}$, $R_L = 2.2 \text{ k ohm}$, $T_a = 20^\circ\text{C}$, $RH = 65\%$)

ITEM	SYMBOL	TEST CONDITION	MINIMUM	STANDARD	MAXIMUM	UNITS
Sensitivity	S	f=1kHz, P _{in} =1Pa	-46	-44	-42	dB 0dB=1V/1Pa
Impedance	Z _{out}	f=1kHz, P _{in} =1Pa			2.2	k Ω
Directivity			OMNI-DIRECTIONAL			
Current Consumption	I				0.5	mA
S/N Ratio	S/N (A)	f=1kHz, P _{in} =1Pa A Curve	55			dB
Sensitivity Reduction	Δ S	f=1kHz, P _{in} =1Pa V _s = 2.0 - 1.5			-3	dB
Frequency Range			100-10,000			Hz
Frequency Response						
Schematic Diagram of Circuit						

II. Mechanical Characteristics

Dimensions	Ø 9.7 x 4.5		See Drawing in Section IV	
Weight	Less than 1.0g			
Soldering Heat Shock	To be no interference in operation after soldering temperature exposure at 260°C +/-5°C for 2 +/- 0.5 seconds.			
Terminal Mechanical Strength	Not Applicable			
Absolute Maximum Ratings	Operating Voltage	Storage Temperature Range	Operation Temperature Range	
	Vs (V)	Tstg °C	Tope °C	
	10	-25°C to +60°C	-25°C to +55°C	



Knowles Acoustics, 1151 MAPLEWOOD DRIVE, ITASCA, IL 60143 USA
 Americas (USA) +1-630-250-5930 Asia (Taiwan) +886-2-6919-1799
 Europe (England) +44 1444 97 2010 Japan (Tokyo) +81-3-3429-1151
www.knowlesacoustics.com

Issued Date:

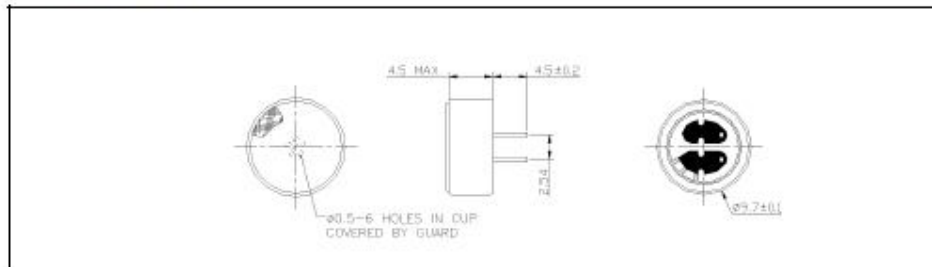
2006/10/10

Version: A

III. Reliability Tests

Note: After any of the following tests performed, the sensitivity of the microphone unit shall not deviate more than $\pm 3\text{dB}$ from its initial value. The microphone shall maintain its initial operation and appearance. Measurements for tests with thermal requirements are to be done after 2hrs of conditioning at 20°C .

Vibration Test	The microphone to have no interference in operation after vibrations, 10Hz to 55Hz for 1 minute full amplitude 1.52mm, for 2 hours at three axes.	
Drop Test	The microphone unit must operate when dropped three times once on each axis from a height of 1m onto a metal plate.	
Temperature Test	High	The microphone unit must operate within its sensitivity specifications after subjected to the following conditions: $+60^\circ\text{C}$ for 240 hrs, and exposed to room temperature for 2 hrs.
	Low	The microphone unit must operate within its sensitivity specifications after subjected to the following conditions: -25°C for 240 hrs, and exposed to room temperature for 2 hrs.
Humidity Test	$+40^\circ\text{C}$ at 95%RH for 240 hrs	
Temperature Cycle Test	After exposure at -25°C for 30 minutes, at $+20^\circ\text{C}$ for 10 minutes, at $+60^\circ\text{C}$ for 30 minutes, at $+20^\circ\text{C}$ for 10 minutes, 5 cycles. (The measurement to be done after 2 hrs of conditioning at $+20^\circ\text{C}$.)	

IV. Dimensional Drawing

V. Other

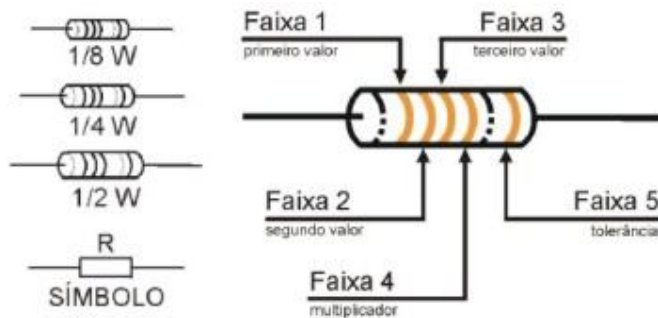

The information contained in this literature is based on our experience to date and is believed to be reliable and it is subject to change without notice. It is intended as a guide for use by persons having technical skill at their own discretion and risk. We do not guarantee favorable results or assume any liability in connection with its use. Dimensions contained herein are for reference purposes only. For specific dimensional requirements consult factory. This publication is not to be taken as a license to operate under, or recommendation to infringe any existing patents. This supersedes and voids all previous literature.

Anexo E - Quadro de Funções Específicas do Ambiente de Programação Arduino

Estruturas de Funcionamento	Funções Digitais I/O	Tipos de Dados
void setup() void loop() Estruturas de Controle if if...else for switch case while do... while break continue return goto Outras Sintaxes ; {} // (comentário de uma linha) /* */ (comentário de várias linhas) #define #include Operadores Aritméticos = (operador de atribuição) + (adição) - (subtração) * (multiplicação) / (divisão) % (módulo) Operadores de Comparação == (igual) != (diferente) < (less than)	pinMode(pino, modo) digitalWrite(pino, valor) int digitalRead(pino) Analógicas I/O analogReference(tipo) int analogRead(pino) analogWrite(pino, valor) - <i>PWM</i> Avançadas I/O shiftOut(pino de dados, pino do <i>clock</i> , bit de ordem, valor) unsigned long pulseIn(pino, valor) Tempo unsigned long millis() unsigned long micros() delay(ms) delayMicroseconds(us) Matemática min(x, y) max(x, y) abs(x) constrain(x, a, b) map(valor, do baixo, do alto, para baixo, para alto) pow(base, expoente) sqrt(x) Trigonometria sin(ângulo) cos(ângulo) tan(ângulo) Números Randômicos	void keyword boolean char unsigned char byte int unsigned int word long unsigned long float double string array Conversão char() byte() int() word() long() float() Operadores Compostos ++ (incremento) -- (decremento) += (adição composta) -= (subtração composta) *= (multiplicação composta) /= (divisão composta) &= (AND composto) = (OR composto) Variáveis HIGH LOW INPUT OUTPUT

<p>> (greater than) <= (less than or equal to) >= (greater than or equal to)</p> <p>Operadores Booleanos</p> <p>&& (e) (ou) ! (negao)</p> <p>Ponteiros</p> <p>* operador de deferência & operador de referência</p> <p>Operadores Binários</p> <p>& (AND) (OR) ^ (XOR) ~ (NOT) << (deslocamento à esquerda) >> (deslocamento à direita)</p>	<p>randomSeed(seed) long random(max) long random(min, max)</p> <p>Bits e Bytes</p> <p>lowByte() highByte() bitRead() bitWrite() bitSet() bitClear() bit()</p> <p>Interrupções Externas</p> <p>attachInterrupt(interruptão,função, modo) detachInterrupt(interruptão)</p> <p>Interrupções</p> <p>interrupts() noInterrupts()</p>	<p>true false integer constants floating point constants</p> <p>Comunicação</p> <p>Serial</p> <p>Escopo de Variáveis e Qualificadores</p> <p>variable scope static volatile const</p> <p>Utilidades</p> <p>sizeof() (sizeof operator)</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Anexo F – Tabela de Auxílio para Leitura de Resistores



<http://www.eletrica.info/tabela-de-resistores/>

Cores	Valores			Multiplicadores	Tolerância
	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3		
Prata	-	-	-	0,01	10%
Ouro	-	-	-	0,1	5%
Preto	0	0	0	1	-
Marrom	1	1	1	10	1%
Vermelho	2	2	2	100	2%
Laranja	3	3	3	1000	-
Amarelo	4	4	4	10000	-
Verde	5	5	5	100000	-
Azul	6	6	6	1000000	-
Violeta	7	7	7	-	-
Cinza	8	8	8	-	-
Branco	9	9	9	-	-
Nenhuma	-	-	-	-	20%

<http://www.eletrica.info/tabela-de-resistores/>